

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA FERREIRA DE SOUZA

FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM RESERVATÓRIO DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO EM CLIMA TEMPERADO ÚMIDO (Cfb): ESTUDO DE
CASO DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR, BRASIL

CURITIBA

2020

CAROLINA FERREIRA DE SOUZA

FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM RESERVATÓRIO DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO EM CLIMA TEMPERADO ÚMIDO (Cfb): ESTUDO DE
CASO DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR, BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Rodrigues de Azevedo

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Heloise Garcia Knapik

CURITIBA

2020

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S729f

Souza, Carolina Ferreira de

Fotodegradação da matéria orgânica em um reservatório de abastecimento público em clima temperado úmido (Cfb): estudo de caso do reservatório do Passaúna/PR, Brasil [recurso eletrônico] / Carolina Ferreira de Souza. – Curitiba, 2020.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2020.

Orientador: Júlio César Rodrigues de Azevedo – Coorientador: Heloíse Garcia Knapik

1. Biodegradação. 2. Matéria orgânica. 3. Água – Qualidade. 4. Reservatórios – Paraná. I. Universidade Federal do Paraná. II. Azevedo, Júlio César Rodrigues de. III. Knapik, Heloíse Garcia. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL - 40001016021P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINA FERREIRA DE SOUZA** intitulada: **FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM RESERVATÓRIO DE ABASTECIMENTO PÚBLICO EM CLIMA TEMPERADO ÚMIDO (Cfb): ESTUDO DE CASO DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR, BRASIL**, sob orientação do Prof. Dr. JÚLIO CÉSAR RODRIGUES DE AZEVEDO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Setembro de 2020.

Assinatura Eletrônica
02/10/2020 10:59:25.0

JÚLIO CÉSAR RODRIGUES DE AZEVEDO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
02/10/2020 15:36:06.0

CARLA CRISTINA BEM
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
02/10/2020 08:21:31.0

TOBIAS BERNWARD BLENINGER
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
05/10/2020 11:48:19.0

CRISTOVÃO VICENTE SCAPULATEMPO FERNANDES
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Centro Politécnico, Bloco V - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 81531-990 - Tel: (41) 3361-3210 - E-mail: ppgerha@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 54488

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 54488

Dedico este trabalho aos meus ancestrais (especialmente ao meu tataravô Benedito Minas) que até quatro gerações antes de mim, resistiram a escravidão, mantiveram a esperança (a custo de suor, sangue e lágrimas), fortaleceram nossa raiz e, do Orún, intercedendo à de Deus, iluminam meu caminho.

Dedico também aos meus pais Elisabete Ferreira e Nilton B. de Souza e à minha esposa Christiane M. Barros, que sempre com muito amor e dedicação, me apoiaram incondicionalmente para realizar meus sonhos.

Dedico à minha primeira professora: minha querida tia Neusa Ferreira, que com muito amor e paciência me alfabetizou aos 02 anos e poucos, pois eu queria muito ir à escola, mas ainda não tinha idade para ser aceita; e às minhas queridas tias Orlanda e Lourdes Ferreira e Nina de Souza que sempre me exortaram à força e autoconfiança.

E por fim, mas não menos importantes, dedico aos queridos amigos (em ordem alfabética, para não sugerir preferências) Elaine Latocheski, Ellen Baettker, Ellen Oliveira, Lais Fernandes, Larissa Lima, Luis Peixoto, Luziadne Gurski, Nanúbia Barreto, Patrícia Barea, Sabrina Drummond e Vinicius Granadier, que tanto me apoiaram, ao longo do mestrado e me marcaram para sempre com bons sentimentos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo apoio financeiro concedido em função do projeto de pesquisa projeto “Caracterização e análise da variabilidade temporal e espacial da matéria orgânica na coluna d’água e no sedimento em um reservatório”, coordenado pela Prof.^a Dr.^a Heloise G. Knapik (Convênio 006/2017).

Ao projeto Mudak – WRM: Multidisciplinary Data Acquisition as Key for a Globally Applicable Water Resource Management, coordenado no Brasil pelo Prof. Dr. Tobias B. Bleninger e pelo Pesq. Dr. Maurício B. Scheer, pelo apoio financeiro para atividades de laboratório, de campo e elaboração e/ou adaptações de estruturas suporte à experimentação.

À CAPES e às universidades UFPR e UTFPR pelos recursos financeiros, insumos, infraestrutura (LABEAM, LEAQUA, LAMAQ) e colaboradores que, direta ou indiretamente, viabilizaram este estudo.

Aos professores Dr. Cristóvão V. S. Fernandes e Dr. Tobias B. Bleninger e as colegas Me. Lediane Marcon, Me. Luziadne K. K. Gurski e Me. Nanúbia P. Barreto por toda ajuda dedicada com os experimentos em campo.

À Me. Luciane L. Prado e À Me. Rúbia C. R. Bottini por todo o suporte oferecido nas questões analíticas e à Me. Caroline Kozak pela ajuda para a elaboração das matrizes excitação-emissão a partir do FEEMC 2.0.

Aos professores Dr. Júlio Azevedo e Dr.^a Heloise Knapik pela orientação, conhecimento compartilhado, tempo doado e todo apoio ao longo de minha formação.

"A água sempre descobre um meio."

(Provérbio Africano)

RESUMO

Em reservatórios decorrentes de barramentos de rios, parte expressiva da matéria orgânica aquática pode ter origem na biomassa vegetal submersa pela inundação e variar conforme os procedimentos de execução adotados (e.g.: o desmatamento antes da inundação ou a manutenção da vegetação local). Quando oriunda de fora do ambiente aquático por meio dos escoamentos da bacia hidrográfica varia, qualitativa e quantitativamente, em função do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios. Assim sendo, compreender as alterações na concentração, composição e distribuição da matéria orgânica aquática é fundamental para na análise da qualidade da água e sua variabilidade em função de sazonalidade, profundidade e condição hidráulica. Diferentes mecanismos atuam na degradação da matéria orgânica aquática, tais como a biodegradação e a fotodegradação, bem como processos de sedimentação e transporte. Estudos de fotodegradação em ambientes de água doce, especialmente reservatórios de abastecimento público, situados em clima temperado úmido (Cfb) e subtropical (Cfa) são recentes e escassos, sobretudo no hemisfério-sul. Diante da ampla gama de estudos sobre outros aspectos, realizados no reservatório do Passaúna e da carência na abordagem da transformação e degradação fotoquímica da matéria orgânica dissolvida (MOD), foram realizados experimentos in situ para avaliar a variabilidade espacial (vertical) e temporal da MOD aplicando as técnicas de espectroscopia de absorção na região do ultravioleta visível e a matriz de emissão-excitação (MEE) de fluorescência combinadas à concentração de carbono orgânico dissolvido (COD). Foram, também, determinados os percentuais de fotodegradação da matéria orgânica e verificadas as concentrações de nutrientes. No campo I (abril/2019), apenas as intensidades de fluorescência (IF) foram baixas, mas presentes nos picos A, B, C T1 e T2, ocorrendo a diminuição de emissão da MOD refratária e aumento das IF dos picos correspondentes à MOD lábil, com diferença significativa entre os picos A, B, C, T1 e T2 ($p \approx 2,91 \cdot 10^{-8}$, após 27,95 h de irradiação; e $p \approx 0,001$, após 94,70 h), sugerindo a formação de substratos biodegradáveis, como sub produtos da fotodegradação da MOD refratária e/ou da atividade microbiológica. No campo II (outubro/2019), ao final de ambos os períodos de incubação, houve diferença significativa entre as IF em função da posição na coluna d'água ($p \approx 0,03$, após 24,62 h; e $p \approx 4 \cdot 10^{-7}$, após e 93,27 h), ocorrendo num primeiro momento aumentos de até 519,43% nas intensidades em relação à “hora-zero”, mas com as IF de todos os picos, no final do experimento, com valores tendendo à/ou iguais à zero, e apenas as amostras incubadas no escuro com IF significativamente maiores do as das amostras irradiadas. Para ambas as soluções de MOD natural enriquecida com padrões de ácido húmico (A+AH) ou aminoácidos (A+Tyr+Trp) houve variação significativa entre as IF, tanto em função da posição na coluna d'água e da fotoproteção, quanto entre os picos A, B, C, T1 e T2 indicando a diversidade de constituintes da MOD natural e a maior expressividade de um composto em detrimento de outro. No término do experimento, a amostra A+AH incubada à superfície foi majoritariamente decomposta – redução média das IF de $97,07\% \pm 3,21$, e a IF do pico A foi igual à zero; e A+Tyr+Trp teve diminuições expressivas nas IF logo nas primeiras 24,62 h de irradiação (e.g.: $97,94\% \pm 1,74\%$ no pico C;). De modo geral, os resultados referentes a MOD natural reafirmaram a forte dependência da interação equilibrada entre agentes microbiológicos e variáveis abióticas e a dificuldade de identificar isoladamente os pesos de cada fator na ciclagem da matéria; e os resultados referentes a MOD natural enriquecida com soluções-padrão melhoraram a visibilidade de parte do complexo processo de degradação da matéria orgânica aquática, principalmente em bacias sob forte influência antrópica.

Palavras-chave: Fotólise da matéria orgânica. Matéria orgânica aquática. Qualidade da água. Reservatórios.

ABSTRACT

In river dams, an important part may originate from the submerge plant-biomass and vary due to procedures adopted (e.g., deforestation before flooding or the maintenance of local vegetation). When coming from outside the aquatic environment through runoff from the hydrographic basin, it varies qualitatively and quantitatively, depending on the land-use catchment. Understanding the concentration changes, composition, and distribution of aquatic organic matter is essential for the water-quality analysis and its variability depending on seasonality, depth, and hydraulic condition. Different mechanisms act on aquatic organic matter degradation, such as biological and photolytic degradation, as well as sedimentation and transport processes. Photodegradation studies in freshwaters, especially public supply reservoirs, located in a temperate humid (Cfb) and subtropical (Cfa) climate are young and scarce, especially in the southern hemisphere. In view of the wide range of studies on other aspects, carried out in the Passaúna reservoir and the lack of approach to the transformation and photochemical degradation of dissolved organic matter (DOM), in situ experiments were carried for to assess the spatial (vertical) and temporal variability of MOD applying the absorption spectroscopy techniques in the visible ultraviolet (UV-Vis) region and the fluorescence emission-excitation matrix (EEM) combined with the concentration of dissolved organic carbon (DOC). The percentages of organic matter photodegradation were also quantify and nutrient concentrations. In field I (April/ 2019), only the fluorescence intensities (FI) were low, but present at peaks A, B, C, T1 and T2, with a decrease in the emission of the refractory DOM and an increase in the IF of the peaks corresponding to the DOM labile, with significant difference between peaks A, B, C, T1 and T2 ($p \approx 2.91 \cdot 10^{-8}$, after 27.95 h of irradiation; $p \approx 0.001$, after 94.70 h), suggesting the formation of substrates biodegradable, as by-products of photodegradation of refractory MOD and/or microbiological activity. In field II (October/2019), at the end of both incubation periods, there was a significant difference between the FIs due to the position in the water column ($p \approx 0.03$, after 24.62 h; $p \approx 4.10 \cdot 10^{-7}$, after and 93.27 h), with an initial increase of up to 519.43% in intensities in relation to the “zero hour”, but with the IF of all peaks, at the end of the experiment, with values tending to / or equal to zero, and only samples incubated in the dark with IF significantly higher than those of irradiated samples. For both natural MOD solutions enriched with humic acid (A + AH) or amino acid (A + Tyr + Trp) patterns, there was significant variation between the FIs, both due to the position in the water column and the photoprotection, and between peaks A, B, C, T1 and T2 indicating the diversity of constituents of natural MOD and the greater expressiveness of one compound at the expense of another. At the end of the experiment, the sample A + AH incubated on the surface was mostly decomposed - mean reduction of the IF of $97.07\% \pm 3.21$, and the IF of peak A was equal to zero; and A + Tyr + Trp had significant decreases in IF in the first 24.62 h of irradiation (e.g., $97.94\% \pm 1.74\%$ at peak C;). In general, the results regarding natural MOD reaffirmed the strong dependence on the balanced interaction between microbiological agents and abiotic variables and the difficulty of identifying the weights of each factor in the cycle of matter separately; and the results referring to natural MOD enriched with standard solutions improved the visibility of part of the complex process of degradation of aquatic organic matter, mainly in basins under strong anthropic influence.

Keywords: Photolysis of organic matter. Aquatic organic matter. Water quality. Reservoirs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – TIPOS DE CARBONO ENCONTRADOS NOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS	26
FIGURA 2 – CICLO DO CARBONO GENERALIZADO E SIMPLIFICADO	27
FIGURA 3 – DINAMICA DO CARBONO GASOSO EM REPRESAMENTO DE RIOS	28
FIGURA 4 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO CICLO E PRINCIPAIS FLUXOS DE CARBONO NA PORÇÃO A MONTANTE, ACIMA DE UM RESERVATÓRIO, MOSTRANDO O INFLUXO DO RIO COM CARGA DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO	28
FIGURA 5 – RESUMO DO CICLO DO CARBONO E PRINCIPAIS FLUXOS DE CARBONO NOS RESERVATÓRIOS	29
FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA AQUÁTICA	33
FIGURA 7 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO COM PRÉ-CLORAÇÃO	38
FIGURA 8 – FOTODEGRADAÇÃO DA MOD NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE AMBIENTES AQUÁTICOS E FORNECIMENTO DE SUBSTRATO À TEIA ALIMENTAR MICROBIANA.....	41
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DO SISTEMA ANALÍTICO DE OXIDAÇÃO POR COMBUSTÃO CATALÍTICA E DETECTOR NDIR	49
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR	57
FIGURA 11 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA (KÖPPEN) PARA O ESTADO DO PARANÁ	58
FIGURA 12 – SUB-BACIA DO RIO PASSAÚNA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA	59
FIGURA 13 – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA FOTODEGRADAÇÃO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.....	62
FIGURA 14 – EQUIPAMENTOS PARA QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COD.....	76
FIGURA 15 – SONDA MULTIPARAMÉTRICA CASTAWAY-CTD SONTEK ®.....	77
FIGURA 16 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA CURITIBA A807	78

FIGURA 17 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA IDENTIFICAÇÃO DE PICOS E REGIÕES DE EXCITAÇÃO-EMIÇÃO DE FLUORESCÊNCIA	80
FIGURA 18 – PERFIS DE TEMPERATURA INSTANTÂNEA AO LONGO DA COLUNA D'ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR	83
FIGURA 19 – PERFIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO AO LONGO DA COLUNA D'ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR	85
FIGURA 20 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR.....	87
FIGURA 21 – VALORES DE TURBIDEZ (NTU) VERIFICADAS À SUPERFÍCIE DA REGIÃO DA CAPTAÇÃO DURANTE OS PERÍODOS DE EXPOSIÇÃO À LUZ NATURAL	89
FIGURA 22 – pH: COMPARATIVO ENTRE AS MEDIÇÕES NA REGIÃO DA CAPTAÇÃO NAS DATAS DAS AMOSTRAGENS E OS LIMITES ESTABELECIDOS PELO CONAMA (RES. 357/05)	90
FIGURA 23 – NITROGÊNIO TOTAL: COMPARATIVO ENTRE AS AMOSTRAGENS E OS LIMITES PARA AS FRAÇÕES NITROGENADAS ESTABELECIDOS PELO CONAMA (RESOLUÇÃO 357/05)	92
FIGURA 24 – FÓSFORO TOTAL: COMPARATIVO ENTRE AS AMOSTRAGENS E PADRÃO CONAMA (RESOLUÇÃO 357/05) PARA CADA TIPO DE AMBIENTE (CLASSE 2)	93
FIGURA 25 – RADIAÇÃO SOLAR DURANTE O PERÍODO DE INCUBAÇÃO PARA A FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	96
FIGURA 26 – RADIAÇÃO SOLAR CORRIGIDA PELO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL DA ÁGUA – CAMPO I E II.....	98
FIGURA 27 – CONCENTRAÇÕES DE COD (mgL^{-1}) NA CAPTAÇÃO DO PASSAÚNA E EM OUTROS RESERVATÓRIOS.....	100
FIGURA 28 – VARIAÇÕES TEMPORAL E VERTICAL DAS CONCENTRAÇÕES DE COD DA MON.....	101
FIGURA 29 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA (CAMPO I).....	102

FIGURA 30 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE NOS TEMPOS t_2 E t_7 DE INCUBAÇÃO (CAMPO I)	104
FIGURA 31 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA (CAMPO II).....	106
FIGURA 32 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE NOS TEMPOS t_2 E t_7 DE INCUBAÇÃO (CAMPO II)	107
FIGURA 33 – VARIAÇÃO SAZONAL DOS PICOS DE IF CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA (fev. 2016 x maio 2017)	110
FIGURA 34 – VARIAÇÕES TEMPORAL E VERTICAL DO COD NA ÁGUA DO RESERVATÓRIO (A) ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (AH) OU COM TIROSINA (Tyr) E TRIPTOFANO (Trp)	111
FIGURA 35 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH).....	113
FIGURA 36 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH).....	115
FIGURA 37 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+Tyr+Trp)	115
FIGURA 38 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp)	116

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – FOTOPRODUTOS BIOLOGICAMENTE LÁBEIS FORMADOS A PARTIR DE MOD DULCÍCOLA E MARINHA	42
QUADRO 2 – ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES E CLIMAS..	50
QUADRO 3 – PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA O ESTUDO DA FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA.....	54
QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO.....	63
QUADRO 5 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (IF)	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COD EM DIFERENTES AMBIENTES	34
TABELA 2 – COD EM RIOS.....	35
TABELA 3 – ESTIMATIVA DO TRANSPORTE DE COT DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS COM BASE NAS ÁREAS TERRESTRES E PERDA POR UNIDADE DE ÁREA	35
TABELA 4 – COD EM RESERVATÓRIOS.....	36
TABELA 5 – CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMISSÍVEL DE THM EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO DE ALGUNS PAÍSES	39
TABELA 6 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) DA ÁGUA.....	79
TABELA 7 – TEMPERATURA DA ÁGUA NA SUPERFÍCIE DE RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)	84
TABELA 8 – OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa).....	86
TABELA 9 – TRANSPARÊNCIA (m) DA ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR: VARIAÇÕES PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À DADOS ANTERIORES	88
TABELA 10 – FÓSFORO TOTAL EM RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)	94
TABELA 11 – TEMPO DE RESIDÊNCIA NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA E EM OUTROS RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/ SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)	94
TABELA 12 – RADIAÇÃO TOTAL E POR TEMPO DE EXPOSIÇÃO.....	96
TABELA 13 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) DA RADIAÇÃO	97
TABELA 14 – VARIAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (Δ COD) DA MON NOS CAMPOS I E II.....	99
TABELA 15 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA POR CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO (CAMPO I)	103

TABELA 16 – VARIAÇÃO QUALITATIVA DA MON NA “HORA-ZERO” (t_0) NOS CAMPOS I E II: COMPARATIVO DOS PICOS DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (r.u.).....	104
TABELA 17 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta F\%$) NOS TEMPOS t_2 E t_7 EM RELAÇÃO A t_0	105
TABELA 18 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA POR CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO (CAMPO II)	108
TABELA 19 – COMPARAÇÃO DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (r.u.) EM AMOSTRAS COM DIFERENTES CARGAS ORGÂNICAS E ORIGENS	108
TABELA 20 – VARIAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (COD) NAS AMOSTRAS DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDAS COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH) OU TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp)	112
TABELA 21 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA DA MON ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+AH) POR TEMPO E CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	113
TABELA 22 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta F\%$) DA MON ENRIQUECIDA POR SOLUÇÃO-PADRÃO DE ÁCIDO HÚMICO (A+AH).....	114
TABELA 23 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA DA MON ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp) POR TEMPO E CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	116
TABELA 24 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta F\%$) DA MON ENRIQUECIDA POR SOLUÇÃO-PADRÃO DE TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp).....	117

LISTA DE SIGLAS

AF	–	Ácidos fúlvicos
AH	–	Ácidos húmicos
ANOVA	–	Análise de variância
APA	–	Área de Proteção Ambiental
APHA	–	American Public Health Association
C	–	Carbono
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	–	Bicarbonato de cálcio
CaCO_3	–	Carbonato de cálcio
CI	–	Carbono inorgânico
CID	–	Carbono inorgânico dissolvido
ClO_2	–	Dióxido de cloro
CO	–	Monóxido de carbono
CO_2	–	Dióxido de carbono
CO_3^-	–	Íon bicarbonato
CO_3^{2-}	–	Íon carbonato
COC	–	Carbono orgânico coloidal
COD	–	Carbono orgânico dissolvido
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONP	–	Carbono orgânico não-purgável
COP	–	Carbono orgânico particulado
COP-biota	–	Carbono orgânico particulado da biota
COS	–	Sulfeto de carbonila
COT	–	Carbono orgânico total
CRC-WTQ	–	The Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment
CTD	–	Condutividade, temperatura e profundidade
DBO	–	Demanda bioquímica de oxigênio
DCAA	–	Aminoácidos combinados dissolvidos
DFAA	–	Aminoácidos livres dissolvidos
DPA	–	Aminas primárias dissolvidas
DQO	–	Demanda química de oxigênio
ETA	–	Estação de tratamento de água

LISTA DE SIGLAS

ETE	–	Estação de tratamento de esgoto
EUA	–	Estados Unidos da América
FEEMC	–	Fluorescence excitation-emission matrix code
HCl	–	Ácido clorídrico
HCO_3^{2-}	–	Íons bicarbonato
$\text{HO}\bullet$	–	Radical hidroxila
HPLC	–	Cromatografia líquida de alta eficiência
IAP	–	Instituto Ambiental do Paraná
IAPAR	–	Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	–	Instituto brasileiro de geografia e estatística
IET	–	Índice de estado trófico
IF	–	Intensidade de fluorescência
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	–	Índice de qualidade da água
MEE	–	Matriz de excitação-emissão de fluorescência
MOD	–	Matéria orgânica dissolvida
MODC	–	Matéria orgânica dissolvida cromofórica
MODF	–	Matéria orgânica dissolvida fluorescente
MON	–	Matéria orgânica natural
MOP	–	Matéria orgânica particulada
MOPL	–	Matéria orgânica particulada lábil
MOPR	–	Matéria orgânica particulada refratária
Mudak-WRM	–	Multidisciplinary Data Acquisition as Key for a Globally Applicable Water Resource Management
N	–	Nitrogênio ou azoto
N/A	–	Não se aplica
N/I	–	Não informado
NDIR	–	Infravermelho não dispersivo
NH_3	–	Nitrogênio amoniacal (amônia)
NH_4^+	–	Nitrogênio amoniacal (íon amônio)
NO^{2-}	–	Nitrito
NO^{3-}	–	Nitrato

LISTA DE SIGLAS

NOPA	–	Programas novas parcerias
NT	–	Nitrogênio total
OD	–	Oxigênio dissolvido
ONU	–	Organização das Nações Unidas
ppb	–	Parte por bilhão
PT	–	Fósforo total
RMC	–	Região metropolitana de Curitiba
RMSP	–	Região metropolitana de São Paulo
SANEPAR	–	Companhia de Saneamento do Paraná
SH	–	Substâncias húmicas
TDCHO	–	Carboidratos combinados dissolvidos totais
THM	–	Trihalometanos
Trp	–	Triptofano
Tyr	–	Tirosina
UTC	–	Coordinated universal time
UV-A	–	Raios ultravioleta A
UV-B	–	Raios ultravioleta B
UV-C	–	Raios ultravioleta C
UV-Vis	–	Ultravioleta-visível
QSU	–	Unidade de sulfato de quinina
ru	–	Unidade Raman

LISTA DE SÍMBOLOS

®	–	marca registrada
nº	–	número

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVOS	22
1.1.1	Objetivo geral	22
1.1.2	Objetivos específicos.....	22
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO	23
2.2	CARBONO E MATÉRIA ORGÂNICA NO MEIO AQUÁTICO	24
2.2.1	Carbono: tipos, formas e fontes.....	25
2.2.2	Ciclo do carbono.....	27
2.2.3	Matéria orgânica aquática	31
2.2.3.1	Trihalometanos: o subproduto do tratamento clorado na presença de matéria orgânica.....	37
2.3	FOTODEGRADAÇÃO DA MOD	40
2.3.1	Fatores reguladores do processo de fotodegradação da MOD	43
2.3.2	Estudos precursores sobre fotodegradação da MOD	46
2.4	TÉCNICAS PARA ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA AQUÁTICA.....	48
2.4.1	Oxidação por combustão catalítica para quantificação do carbono orgânico.....	48
2.4.2	Análises espectroscópicas	50
2.5	TÉCNICAS PARA ESTUDO DA FOTODEGRADAÇÃO.....	54
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
3.1	ÁREA DE ESTUDO	56
3.2	COLETA, CONSERVAÇÃO E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS	61
3.3	FOTODEGRADAÇÃO POR IRRADIAÇÃO SOLAR	62
3.4	ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS	76
3.5	ANÁLISES DE DADOS	77
3.5.1	Dados meteorológicos e de geoespaciais	77
3.5.2	Atenuação vertical da radiação na coluna d'água	79
3.5.3	Variação de COD.....	80
3.5.4	Intensidades de fluorescência (IF).....	80
3.5.5	Análises estatísticas	81

3.6	DEFINIÇÕES.....	81
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
4.1	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	83
4.1.1	Temperatura da água	83
4.1.2	Oxigênio dissolvido (OD)	85
4.1.3	Transparência da água e extensão da zona fótica	87
4.1.4	Turbidez.....	89
4.1.5	pH.....	90
4.1.6	Nutrientes: nitrogênio (N) e fósforo (P)	91
4.1.7	Radiação solar.....	95
4.2	EXPERIMENTO I: FOTODEGRADAÇÃO DA MON DISSOLVIDA.....	98
4.2.1	Carbono orgânico dissolvido (COD)	98
4.2.2	Intensidade de fluorescência (IF).....	102
4.3	EXPERIMENTO II: FOTODEGRADAÇÃO DA MON DISSOLVIDA ENRIQUECIDA.....	111
4.3.1	Carbono orgânico dissolvido (COD)	111
4.3.2	Intensidade de fluorescência (IF).....	112
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS MONITORADAS NA SUPERFÍCIE DA REGIÃO DA CAPTAÇÃO (2018 - 2019)	140
	APÊNDICE B – RADIAÇÃO SOLAR (W.M⁻²) CORRIGIDA PELO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (K) DA ÁGUA	141
	APÊNDICE C – ESTUDOS SOBRE COD E/OU MOD EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS DE ÁGUA	145
	APÊNDICE D – FOTODEGRADAÇÃO DA MOD (ANÁLISES ESTATÍSTICAS).....	149
	APÊNDICE E – TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA (ANOVA SOBRE DADOS PRECURSORES)	180
	ANEXO 1 – ESPECIFICAÇÕES DOS ANALIZADORES DE CARBONO ORGÂNICO DA SÉRIE TOC-V SHIMADZU®	181
	ANEXO 2 – ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR INSTALADO NA CAPTAÇÃO DO PASSAÚNA/PR E DOS RESPECTIVOS DADOS.....	183
	ANEXO 3 – CALCULADORA GEOGRÁFICA E GOOGLE MAPS.....	184

ANEXO 4 – COMPARATIVO DE DISTÂNCIAS ENTRE AS ESTAÇÕES METEORÓLOGICAS E O LOCAL DO EXPERIMENTO	186
ANEXO 5 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN.....	187

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica aquática pode ter origem tanto em ações antrópicas, quanto em processos naturais relacionados ao transporte de material pedogênico e à ciclagem, assimilação e produção interna do sistema. Adicionalmente, alterações de uso e ocupação do solo na bacia de drenagem – como a supressão da vegetação natural para dar lugar às atividades agropecuárias intensivas e/ou a pressão pelo desenvolvimento urbano – e o lançamento de efluentes e de resíduos sólidos, domésticos ou industriais, contribuem qualitativa e quantitativamente com o aporte de matéria orgânica em reservatórios (MASH et al., 2004; MOSTOFA et al., 2013a). Em ambos os casos, incrementos significativos no aporte e/ou alterações nos agentes e processos biogeoquímicos envolvidos podem implicar na deterioração da qualidade da água, visto que a degradação da matéria orgânica disponibiliza nutrientes e dióxido de carbono – crucial para fotossíntese de biomassa – favorecendo as florações de membros do fitoplâncton ou de macrófitas aquáticas, bem como a alteração da profundidade da zona fótica, entre outras consequências (MANAHAN, 2000; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011; MOSTOFA et al., 2013a).

Em reservatórios decorrentes de barramentos de rios parte expressiva da matéria orgânica natural (MON) pode ter origem na matéria vegetal submersa pela inundação, podendo variar conforme os procedimentos de execução adotados, como, por exemplo, a opção por promover o desmatamento antes da inundação ou, ao contrário disso, manter a vegetação local. Diversos trabalhos relatam a decomposição de árvores após a formação de grandes ambientes lacustres pela inundação de áreas terrestres adjacentes, produzindo gases sulfídricos e metano, que deterioram a qualidade da água e impactam negativamente a vida aquática. Tanto a matéria vegetal submersa pela inundação, quanto os organismos autóctones mortos pela deterioração da qualidade da água compõem a MON (TUNDISI, 1978 apud BIANCHINI-JR, 1999; GARZON, 1984; BIANCHINI-JR, 1999; MENDES, 2005; ZANONI et al., 2015).

A MON pode ser considerada a partir da sua fração lábil, que pode ser degradada biologicamente, e da fração refratária, constituída por compostos estáveis (BEM et al., 2013). “A matéria orgânica natural (MON) refratária, principalmente as substâncias húmicas (SH), eram consideradas recalcitrantes, em especial à biodegradação por bactérias” (AZEVEDO, 2005, p. 151). Entretanto, atualmente sabe-se que as SH são sujeitas a fotodegradação, transformando-se em insumos para

atividades biológicas (AZEVEDO, 2005). As SH são originadas pela transformação de detritos vegetais, bacterianos e fúngicos (LEENHEER, 1994) e se dividem em ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (MALCOLM, 1990; MOBED et al. 1996; LIMA et al., 2017). Elas podem ser formadas tanto nos corpos d'água, quanto serem inseridas nestes por meio do escoamento superficial, dando-lhes uma coloração escura quando significativamente presentes na água (COSTA et al., 2018).

Em ambientes aquáticos, diferentes mecanismos atuam na transformação da matéria orgânica, tais como a fotodegradação e a biodegradação, bem como nos processos de sedimentação e transporte no ecossistema (MASH et al. 2004). Vários autores discorrem sobre processos e produtos de fotodegradação nos diferentes tipos de ambientes aquáticos, inclusive em reservatórios (LEENHEER, 1994; MANAHAN, 2000; MORAN; COVERT, 2002; AZEVEDO, 2005; MOSTOFA et al., 2007; CAWLEY et al., 2012; MOSTOFA et al., 2013b; TEIXEIRA; AZEVEDO; PAGIORO, 2013; KNAPIK, 2014). Mostofa et al. (2013b) agruparam dados de diferentes estudos, sugerindo que a fotodegradação apresenta taxas distintas em função das particularidades dos ambientes aquáticos e do tempo de irradiação. Em corpos hídricos lânticos, conforme a radiação solar diminui com o aumento da profundidade ocorre, também, a redução gradual das taxas de mineralização da matéria orgânica.

O entendimento de alterações na concentração e composição da matéria orgânica é fundamental para análise da qualidade da água e de sua variabilidade em função do tempo (curto, médio ou longo prazo), da profundidade e das condições hidráulicas. Nesse sentido faz-se desejável conhecer e compreender o comportamento da matéria orgânica em relação à radiação luminosa nos reservatórios de abastecimento público, sendo delimitado como objeto de estudo do presente trabalho o reservatório do Passaúna, uma das principais fontes de abastecimento da região metropolitana de Curitiba (RMC), fornecendo água para cerca de 22% da população (PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017).

A partir do questionamento sobre como a fotodegradação da matéria orgânica varia ao longo da coluna d'água e se tal processo seria um mecanismo condicionante à variação da qualidade da água do Reservatório do Passaúna, foi estabelecida a hipótese de que a fotodegradação é um processo condicionante na transformação da matéria orgânica e, conseqüentemente, na alteração da qualidade da água do reservatório.

Nesse contexto, diferentes técnicas analíticas podem ser empregadas para quantificar e caracterizar a matéria orgânica dissolvida no ambiente aquático, dentre elas a análise dos espectros de absorbância na região do ultravioleta e visível e dos espectros de emissão de fluorescência, como os de matriz de excitação-emissão (MEE). Assim, esta pesquisa se justifica no sentido de caracterizar e avaliar a variabilidade da matéria orgânica dissolvida (MOD) na região da captação para abastecimento, no reservatório do Passaúna (em relação a natureza, lábil ou refratária, da MOD), bem como avaliar a contribuição da fotodegradação como mecanismo de transformação dos compostos analisados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Investigar se a fotodegradação é um mecanismo condicionante nos processos de transformação e degradação da matéria orgânica na coluna d'água; e como seus diferentes aspectos (origem, degradabilidade e composição) podem influenciar a qualidade da água no reservatório do Passaúna/PR.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar as variações espacial (profundidade) e temporal das frações lábil e refratária da matéria orgânica dissolvida (MOD) da região da captação do reservatório do Passaúna, por meio de técnicas de espectroscopia de absorbância no ultravioleta visível e de excitação-emissão de fluorescência;
- Determinar e analisar as taxas de fotodegradação da MOD ao longo da coluna d'água com base na aplicação de técnicas de espectroscopia;
- Analisar dados de parâmetros associados a qualidade da água para caracterização ambiental, discutindo-os com base em valores-referência indicados na Resolução 357/05 do CONAMA.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

A qualidade da água destinada ao abastecimento público consiste, há tempos, numa questão crucial à gestão de recursos hídricos, sobretudo tratando-se de bacias hidrográficas situadas, parcial ou integralmente, próximas dos centros urbanos. É desejável que após tratamento convencional¹, as águas dos mananciais sejam adequadas para atender as demandas de consumo humano, industrial, entre outros. Entretanto, o crescimento populacional, o aumento da produção de resíduos sólidos, assim como as mudanças nos hábitos de consumo e do uso do solo etc., vêm contribuindo para que a água prontamente disponível para consumo seja cada vez mais escassa.

A água para consumo humano é majoritariamente doce de origem superficial ou subterrânea, mas em regiões áridas, parte do abastecimento pode ser de água do mar ou de águas subterrâneas salinas ou salobras – fonte que pode ser tornar mais utilizada conforme a diminuição da disponibilidade de água doce potável – após serem submetidas à dessalinização (MANAHAN, 2000).

Os rios urbanos, sobretudo em países subdesenvolvidos como o Brasil, têm sido impactados pelos despejos de poluentes, desde formas grosseiras como resíduos sólidos urbanos, até esgoto não tratado ou após tratamento, cujas eficiências de remoção de poluentes encontram-se, muitas vezes, aquém da capacidade de assimilação do ecossistema. Cosgrove e Rijsberman (2014) enfatizam que “Há uma crise da água hoje, mas a crise não é sobre ter pouca água para satisfazer nossas necessidades. É uma crise de administrar a água tão mal que bilhões de pessoas – e o meio ambiente – sofrem muito” (p. XIX, tradução minha). Dados da Organização das Nações Unidas (ONU), apontam que até 2025 quase dois bilhões de pessoas estarão situadas em locais com severa escassez hídrica e cerca de 66,7% da população mundial poderá estar vivendo em condições de estresse hídrico (LARTIGUE et al., 2016).

A classificação das águas pode ser considerada crucial à proteção de seus

¹ Tratamento convencional: clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH. (BRASIL. Poder Executivo, 2005).

níveis de qualidade – mensurada a partir de condições e padrões específicos. No Brasil, a Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica os corpos hídricos e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, tencionando avaliar os múltiplos usos fundamentais. As águas doces que podem ser destinadas ao abastecimento público devem se enquadrar nos parâmetros das classes: (a) especial – uso após desinfecção; (b) classe 1 – uso após tratamento simplificado; (c) classe 2 – uso após tratamento convencional; ou (d) classe 3 – uso após tratamento avançado (BRASIL. Poder Executivo, 2005). D’Aguila, et al. (2000) pontuam que “o propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública” e, sendo assim, os parâmetros empregados para certificar tal qualidade devem embasar o desenvolvimento de ações para se assegurar a segurança do fornecimento de água com eliminação ou redução à concentração mínima de substâncias nocivas à saúde.

Vários estudos discorrem sobre a qualidade das águas de abastecimento público, tanto contemplando a água que sai das estações de tratamento de água (ETA) e pontos da rede de abastecimento (D’AGUILA, et al., 2000; ALVES et al., 2017; RODRIGUES, 2017), quanto dos corpos hídricos que fornecem tal recurso às populações (BASSO; CARVALHO, 2007; ARANTES, 2017; RODRIGUES, 2017; SANTOS, 2017; SILVA, D. C. V. R. et al., 2018).

Santos (2017) pontua que vários corpos aquáticos em todo o mundo se tornaram impróprios para o abastecimento público dada a deterioração da qualidade da água. Tais impactos podem ser determinados e quantificados com base em diversos parâmetros físicos, químicos e/ou biológicos, nos índices de qualidade da água (IQA) e/ou índices de estado trófico (IET) (CARLSON, 1977; TOLEDO-JR et al., 1983; LAMPARELLI, 2004). Outra forma de se avaliar a situação da qualidade da água pode ser por meio do estudo da concentração, composição e origem da matéria orgânica presente na água.

2.2 CARBONO E MATÉRIA ORGÂNICA NO MEIO AQUÁTICO

Carbono e matéria orgânica estão intimamente relacionados numa ampla gama de estudos. Matéria orgânica é, em linhas gerais, o termo que designa as substâncias constituídas por moléculas orgânicas, que compõem os detritos e dejetos da biota ou substâncias orgânicas sintetizadas e/ou transformadas nas diversas

atividades humanas, seja a nível artesanal ou em escala industrial. Dentre os diferentes elementos químicos que podem compor a matéria orgânica, o carbono pode ser considerado seu principal constituinte. O carbono, nomeado por Lavoisier em 1789 baseado no vocábulo latino *carbo* – cuja tradução para o português é carvão – é amplamente difundido sob diversas formas no planeta que habitamos e vêm sendo utilizado e relatado – principalmente se considerarmos as formas inorgânicas – por diferentes povos antigos (e.g.: o diamante, citado nas escrituras hindus Os Vedas, O Ramayana e O Mahabharata; e o carvão, utilizado na pintura rupestre há pelo menos 28 mil anos atrás, e mencionado algumas vezes na Bíblia Sagrada (PEIXOTO, 1997; HISOUR, 2020; BUSCA, 2020a; 2020b; 2020c; 2020d).

2.2.1 Carbono: tipos, formas e fontes

Dos elementos químicos conhecidos pelo homem, o carbono é elemento disponível em maior abundância e pode apresentar-se sob distintas formas, tanto como substâncias simples, quanto compostas. (PEIXOTO, 1997; DAVIES; VIÇOSA; HOELZEL, 2009). Pastrana-Martínez et al. (2013, p. 21) apontam o carbono como “o sexto elemento mais abundante do universo, encontrando-se presente tanto na forma orgânica, como em materiais inorgânicos”. Trata-se de um elemento versátil e amplamente difundido no ambiente.

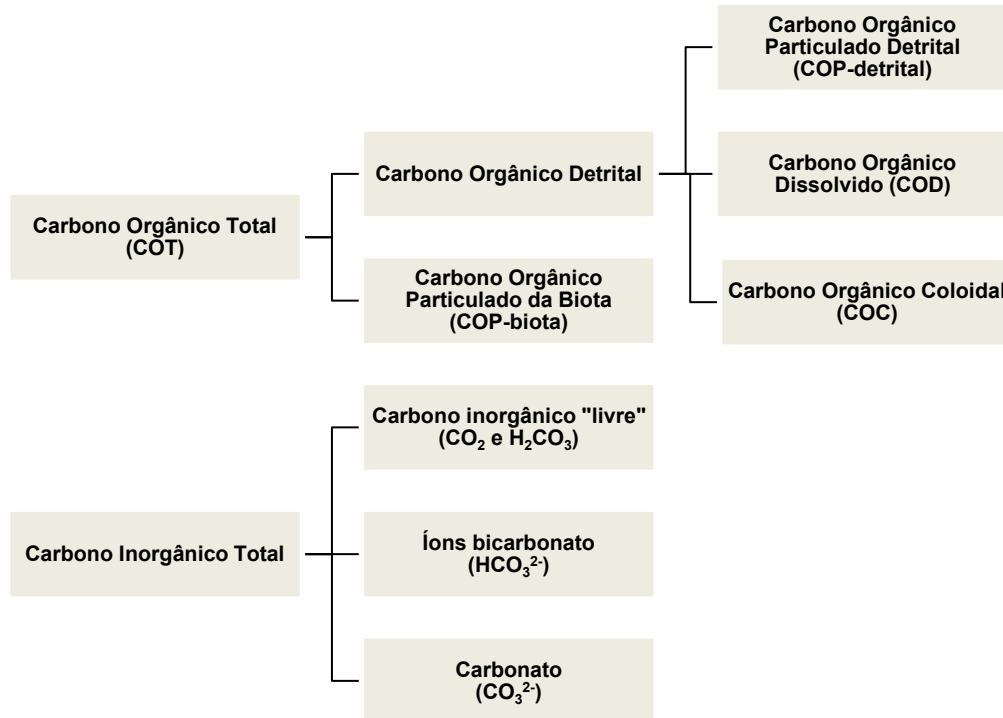
O carbono (C) pode ocorrer na natureza sob os isótopos – moléculas com mesmo número atômico, mas diferentes números de nêutrons – ^{12}C (98,86 a 98,99%), ^{13}C (1,01 a 1,14%) e o radioativo ^{14}C ($1,2 \cdot 10^{-10} \%$) presente no gás carbônico da atmosfera terrestre e capaz de se incorporar à biosfera antes de se desintegrar totalmente (PEIXOTO, 1997).

O armazenamento atmosférico de carbono é pequeno e bastante ativo em condições naturais, mas pode ser facilmente alterado e impactado pelas ações antrópicas, acarretando modificações meteorológicas, tanto de prazos curto, médio e longo, quanto em escalas locais, regionais e globais. Enquanto isso, os oceanos consistem no maior reservatório global de carbono, armazenado como formas de carbonato (ODUM, 2001).

Segundo Esteves (1998), as formas de carbono orgânico existentes em ambientes aquáticos continentais podem ser agrupadas conforme o diagrama da

FIGURA 1. As diferenças existentes entre as formas, no sentido do tamanho das partículas, são definidas a partir da análise de amostras submetidas aos processos de decantação, filtração e centrifugação, sendo o método mais utilizado a filtração em membranas livres de contaminação por matéria orgânica com porosidade de cerca de 0,45 μm .

FIGURA 1 – TIPOS DE CARBONO ENCONTRADOS NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS



FONTE: Adaptado de ESTEVES (1998).

O carbono orgânico dissolvido (COD) têm como origem principal, em ambientes naturais, a matéria vegetal e animal morta, assim como excretas e exsudatos dos organismos. Sua composição é, de modo geral, proteica, lipídica e de SH. Em ambientes lacustres pode haver relação entre a concentração de COD e o estado trófico, dependendo do tipo e origem da carga orgânica. (ESTEVES, 1998).

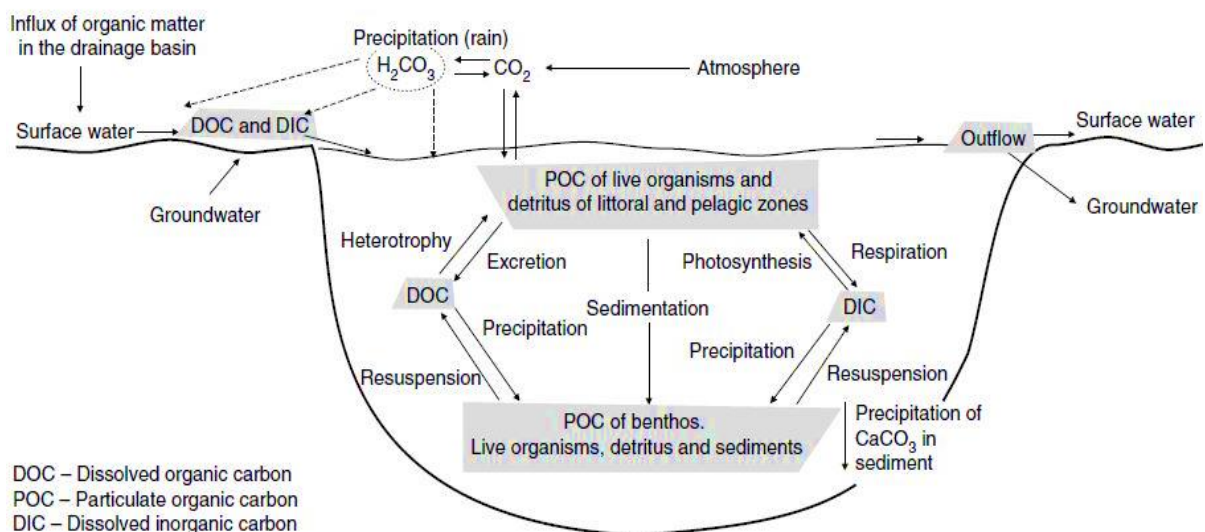
O carbono inorgânico (CI) pode ter origem atmosférica, pedogênica e/ou dos processos fotoquímicos e bioquímicos que ocorrem no ambiente. Uma parcela do CO_2 dissolvido pode ser agrupada, formando-se o aglomerado denominado “ CO_2 combinado”, que é uma espécie de estoque de carbono inorgânico destinado à fotossíntese (ESTEVES, 1998). Em águas naturais, a proporção entre carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e dióxido de carbono (CO_2) regula a acidez ou alcalinidade (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

2.2.2 Ciclo do carbono

O ciclo do carbono, em linhas gerais, envolve os seguintes processos: aporte alóctone de carbono orgânico e inorgânico; troca de carbono gasoso na interface água-ar; assimilação e fixação de carbono inorgânico pelos organismos fotoautotróficos e produção de matéria orgânica; excreção e morte de organismos aquáticos disponibilizando nutrientes e matéria orgânica para o meio; e processos de degradação da matéria orgânica (fotodegradação e biodegradação) (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

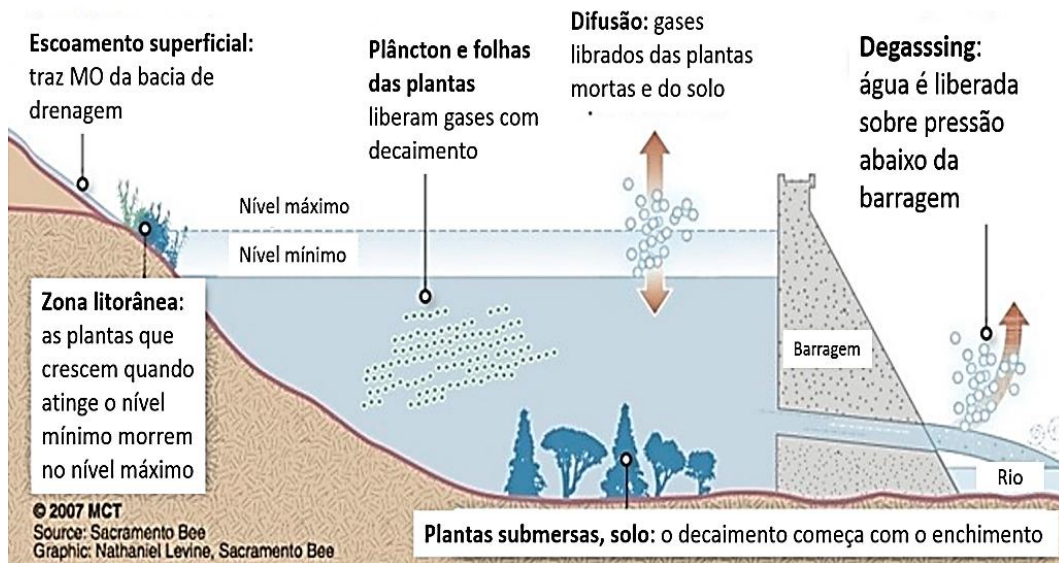
A FIGURA 2 ilustra o ciclo do carbono generalizado e simplificado em ambientes lagos, mas em “reservatórios com muitos compartimentos e áreas rasas, tal ciclo pode se apresentar de forma mais complexa” (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011, p. 350, tradução minha), seja por causa das diferenças na intensidade dos processos, aceleradas por mudanças sazonais – como a exposição dos sedimentos de áreas rasas durante períodos de estiagem, afetando o processamento da matéria orgânica e alterando as taxas de emissão de gases do efeito estufa, pois após a reinundação, as concentrações de CO_2 e CH_4 na água podem aumentar expressivamente (PINHEIRO, 2019); ou por causa das diferenças de tempo de residência; diferenças de dinâmica em função da estratificação; fluxo de descarga de fundo da barragem liberado sob pressão na seção fluvial a jusante, lançando carbono gasoso na atmosfera (FIGURA 3) (SILVA-SÁ, 2017).

FIGURA 2 – CICLO DO CARBONO GENERALIZADO E SIMPLIFICADO



FONTE: TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2011).

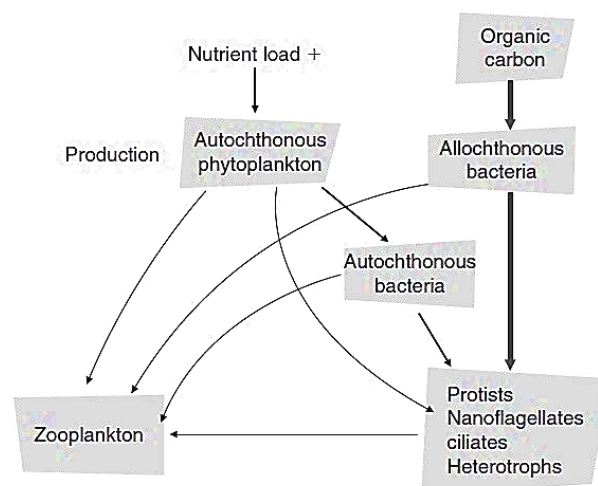
FIGURA 3 – DINAMICA DO CARBONO GASOSO EM REPRESAMENTO DE RIOS



FONT: SILVA-SÁ (2017).

Fontes alóctones de carbono e a matéria orgânica produzida pela comunidade planctônica fotoautotrófica autóctone consistem no principal suprimento de carbono para as bactérias. Parte do suprimento de nutrientes e carbono orgânico vêm do aporte fluvial da porção à montante, conforme ilustrado na FIGURA 4 (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

FIGURA 4 – DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO CICLO E PRINCIPAIS FLUXOS DE CARBONO NA PORÇÃO A MONTANTE, ACIMA DE UM RESERVATÓRIO, MOSTRANDO O INFLUXO DO RIO COM CARGA DE NUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO

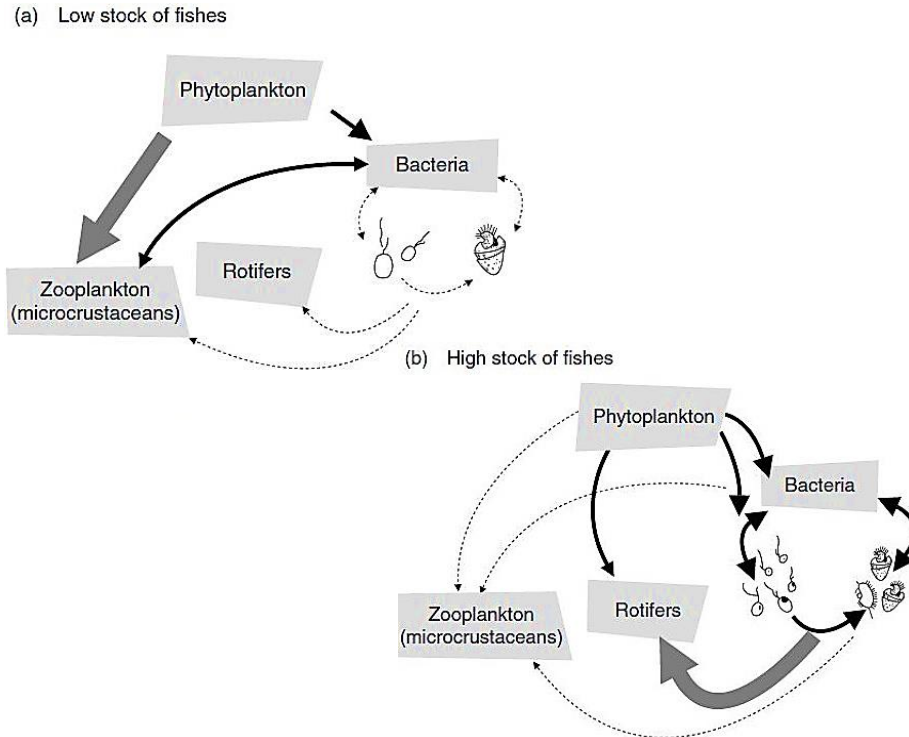


FONTE: TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2011).

As figuras 2; 3 e 5 lustram os principais fluxos de carbono em reservatórios. Contudo, a FIGURA 4 pormenoriza as diferentes possíveis rotas dos fluxos de carbono entre os distintos táxons da comunidade planctônica – fito, zoo e

bacterioplâncton; autótrofos e heterótrofos; etc. – contemplando desde organismos autóctones, até organismos alóctones, carregados para o reservatório junto ao aporte de nutrientes e matéria orgânica gerados fora do reservatório (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

FIGURA 5 – RESUMO DO CICLO DO CARBONO E PRINCIPAIS FLUXOS DE CARBONO NOS RESERVATÓRIOS



TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI (2011).

Os organismos fotoautotróficos aquáticos transformam o carbono inorgânico das águas superficiais em orgânico, consumindo grandes quantidades do CO_2 presente na água – sendo este composto essencial no ciclo biogeoquímico em águas naturais. Sua ampla disponibilidade se deve ao sistema de equilíbrio entre o CO_2 , assim como outras formas químicas de carbono dissolvidas no ambiente aquático e o CO_2 presente na atmosfera, não sendo considerado fator limitante nas principais teorias sobre as limitações dos processos de crescimento fotossintéticos. Por outro lado, em condições de pH alto decorrente da fotossíntese, o carbono pode ser limitante no sentido da ocorrência de uma mudança no equilíbrio em direção ao bicarbonato e carbonato (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

Em ambientes lacustres, particularmente naqueles com elevado teor de cálcio, o carbonato de cálcio (CaCO_3) é praticamente insolúvel. Entretanto, é possível que ele seja solubilizado como bicarbonato de cálcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), em função da

disponibilidade de CO_2 dissolvido no corpo hídrico. Para manter o $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ em solução é preciso que esteja disponível no meio certa concentração correspondente de CO_2 livre – i.e. concentração de “ CO_2 de equilíbrio”. O equilíbrio pode ser interrompido a partir do aumento de CO_2 no sistema – neste contexto, chamado de “ CO_2 agressivo” – ou a partir da remoção do composto, por meio da fotossíntese ou da elevação da temperatura, promovendo transformação do $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ solúvel em CaCO_3 insolúvel (ESTEVES, 1998).

O Fitoplâncton, as macroalgas e as macrófitas aquáticas possuem papel de grande relevância no ciclo do carbono, como apontado por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011):

Algumas espécies de fitoplâncton podem manter um alto nível intracelular de CO_2 por causa de uma 'bomba de bicarbonato' na membrana celular, que, juntamente com a atividade de uma unidade carbônica, opera fisiologicamente este sistema. Os mecanismos de fixação do carbono e seu transporte nas plantas aquáticas interagem continuamente com os compostos químicos do carbono inorgânico dissolvido na água, o que tem enormes implicações para métodos (experimentos para medir a fotossíntese), fisiologia (respiração, consumo de energia, fotossíntese, excreção) e ecologia (controle das condições químicas pelas plantas aquáticas, interações com o ciclo sazonal e processos de decomposição e reciclagem). As diferenças bioquímicas entre as diferentes espécies afetam muito as inter-relações entre o ciclo sazonal das plantas aquáticas e sua sucessão no tempo e no espaço, como foi demonstrado para várias espécies fitoplanctônicas (Harris, 1980). Em geral, o fluxo de carbono nas células ocorre foto-autotroficamente, embora, em alguns casos, 'fixar' o carbono no escuro possa se tornar importante (p. 349, tradução minha).

Outro processo importante no ciclo do carbono consiste na rápida sedimentação da matéria orgânica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011). Esteves (1998) menciona a forte influência da concentração de CaCO_3 sobre o ciclo do carbono orgânico na coluna d'água, pois no processo de coprecipitação os cristais de CaCO_3 adsorvem e levam para os sedimentos diversos compostos orgânicos. Há comprovação do processo de coprecipitação para o ácido fúlvico, por exemplo, e sua ocorrência também foi admitida para as vitaminas dissolvidas na água. Os compostos orgânicos precipitados até a zona bentônica, podem ser biodegradados pela microbiota local ou compor o sedimento permanente do corpo hídrico. De acordo com Benner (2002):

A biossíntese e remineralização da matéria orgânica são geralmente processos fortemente acoplados no ciclo global do carbono. Comparações de taxas globais de produção primária e reservatórios de matéria orgânica detrital biorreativa demonstram que a ciclagem de carbono reduzido é

eficiente, com apenas uma pequena porcentagem da produção anual escapando dos processos de remineralização. Assim, a preservação do carbono reduzido é a exceção, e a remineralização do carbono reduzido é a regra. [...]Todas as principais classes de bioquímicos devem ser reativas, pois, uma fração muito pequena da matéria orgânica biossintetizada é preservada na biosfera. No entanto, há muito tempo se reconhece que alguns componentes químicos das células são mais rapidamente degradados e remineralizados do que outros. A influência da composição química na reatividade da matéria orgânica é mais aparente durante os estágios iniciais da decomposição (i.e.: diagênese), quando as taxas de remineralização são máximas e a matéria orgânica é mais suscetível à biodegradação (p. 121-122, tradução minha).

A respiração completa o ciclo do carbono, retornando o carbono orgânico ao pool de carbono inorgânico dissolvido (SINSABAUGH; FINDLAY, 2002, p. 486, tradução minha).

2.2.3 Matéria orgânica aquática

A matéria orgânica aquática é formada por duas componentes principais: a parte dissolvida e a particulada. Tais componentes são definidas e identificadas a partir da filtração. Convencionalmente, define-se a matéria orgânica dissolvida (MOD) como qualquer material orgânico não retido por filtro, livre de matéria orgânica, de porosidade variável entre 0,1 e 0,7 μm e a matéria orgânica particulada (MOP) como a parcela remanescente sobre a membrana (MOSTOFA et al., 2013a), sendo mais comum a filtração em membrana de 0,45 μm (ESTEVES, 1998).

Assim como a MOD, a MOP exerce importante influência sobre a qualidade da água, especialmente no aspecto de potabilidade, e pode ser biodegradada pela microbiota aquática, tendo importante função ecológica como fonte energética para diversos organismos, principalmente no fornecimento de carbono (C) e nitrogênio (N). Além dos processos envolvendo a biota aquática, ocorrem também processos químicos, geoquímicos e fotoinduzidos envolvendo a MOP e a MOD aquáticas. A composição da MOP compreende diferentes detritos vegetais, animais e de algas, componentes do plâncton, organismos vivos etc. (MOSTOFA et al., 2013a).

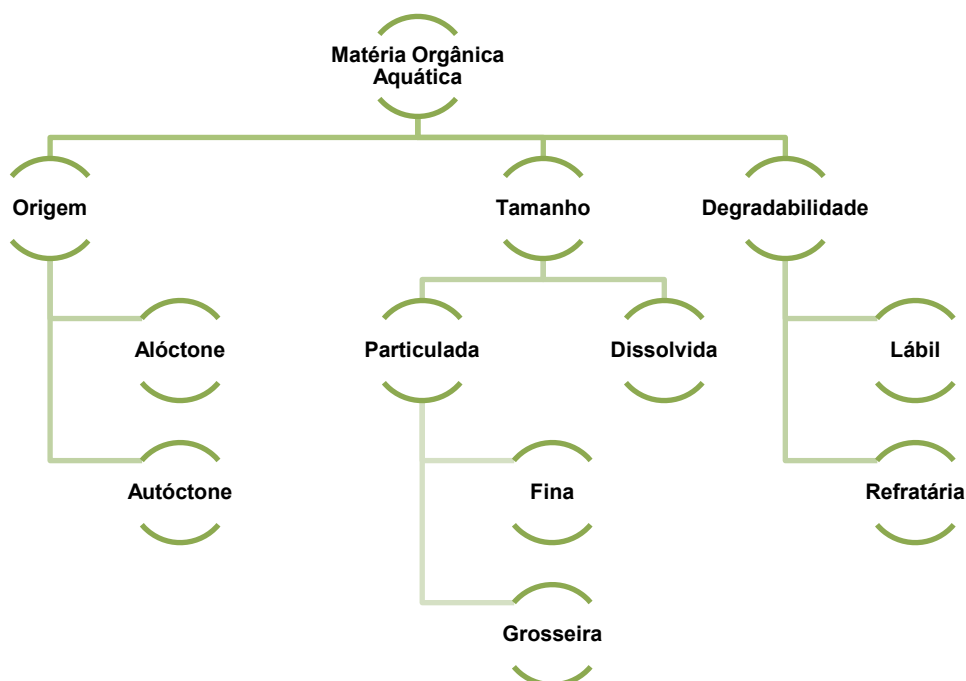
Bianchini-Jr (1999), divide a MOP em grosseira – correspondente a materiais externos ao corpo hídrico, como “folhas, flores, frutos, fezes e carcaças de animais etc.” (p. 2) – e fina. Outra forma de classificação mencionada pelo autor se baseia na degradabilidade da matéria orgânica particulada, podendo ser: lábil (MOPL) ou refratária (MOPR). Tal critério também pode ser aplicado à MOD.

A MOD aquática pode ser classificada, conforme sua origem, como autóctone ou alóctone (natural/pedogênica ou antrópica) (MOSTOFA et al., 2013a). Em linhas gerais, o termo autóctone corresponde ao fenômeno ou ao indivíduo originado no local em que é verificado, sendo, portanto, antônimo de alóctone (MICHAELIS, 2019). Nesse sentido, Mostofa et al. (2013a) classificam como MOD autóctone aquela a derivada da produção primária in situ nas águas superficiais naturais, geralmente observada no epilímnio – i.e. nas camadas superiores da coluna d'água – em relação ao hipolímnio – i.e. camadas mais profundas – durante a estratificação que ocorre no verão, principalmente em ambientes lacustres e no oceano. Já a MOD alóctone, tem origem nos solos terrestres e incluem substâncias húmicas (SH) – i.e. ácidos fúlvicos e húmicos – derivadas da decomposição de detritos e exsudatos vegetais e detritos animais, podendo variar significativamente conforme a localização geográfica e em função agentes físicos, químicos e microbiológicos.

Sendo antrópico tudo o que é “relativo ao homem ou ao período de existência do homem na Terra e às modificações por ele provocadas no meio ambiente” (MICHAELIS, 2019), a MOD antrópica resulta da interferência das atividades industriais, agropecuárias e poluição urbana realizadas na bacia hidrográfica (MOSTOFA et al., 2013a) e da poluição atmosférica transferida por deposição úmida – via precipitação – ou deposição seca – via sedimentação de partículas e gases (IAVORIVSKA; BOYER; DEWALLE, 2016). Diante do exposto, o diagrama exibido na FIGURA 6 ilustra as possíveis divisões e classificações da matéria orgânica aquática.

Grande parte dos estudos referentes à MOD em água doce vêm sendo realizados em clima temperado onde o material orgânico alóctone é abundante (LINDELL et al., 1995; 1996; ARENZ-JR; LEWIS-JR; SAUNDERS-III (1996); JØRGENSEN et al., 1998; MORAN; SHELDON-JR; SHELDON, 1999; MORAN; KIM et al. (2000); SHELDON-JR; ZEPP, 2000; BERTILSSON; TRANVIK, 2000; FINDLAY et al., 2001; MCKNIGHT et al., 2001; TRANVIK; BERTILSSON, 2001; MASH et al., 2004; CHEN et al., 2015; HESTIR et al. (2015); MORLING; HERZSPRUNG; KAMJUNKE., 2017). Outro aspecto a ser considerado é a limitação analítica dada a complexidade da MOD a nível molecular, devido aos numerosos compostos que a constituem. Além disso, quimicamente, a MOD não pode ser pormenorizada como a soma das características dos seus componentes individuais, pois as interações moleculares, internamente na matéria orgânica ou com outras espécies aquáticas, modificam as características dos componentes (LEENHEER, 1994).

FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA AQUÁTICA



FONTE: Adaptado de ESTEVES (1998); BIANCHINI-JR (1999); MOSTOFA et al., (2013a); IAVORIVSKA; BOYER; DEWALLE (2016).

Segundo Leenheer (1994), modelos moleculares apontaram que estruturas de cadeia curta, ramificada e alicíclica são terminadas por radicais carboxila (COOH) ou metil (CH_3^-), tanto na MOD alóctone, quanto na autóctone, diferenciando-se apenas pelos compostos de origem desses grupos: para a MOD alóctone seriam resíduos de tanino e lignina, enquanto para a MOD autóctone a origem estaria nos hidrocarbonetos lipídicos. O autor afirma que menores diferenças estruturais foram observadas sobre a MOD oriunda diferentes domínios morfoclimáticos.

Em ambientes aquáticos naturais, cerca de 20% da MOD corresponde a substâncias identificáveis, sendo elas: ácidos carboxílicos, aminoácidos, carboidratos e hidrocarbonetos. A maior fração da MOD, ou seja, cerca de 80%, corresponde as SH, que:

[...] são definidas como polímeros amorfs, de massa molar elevada, estruturas complexas e heterogêneas, que alteram com frequência as suas conformações em função das interações que ocorrem entre os grupos funcionais presentes na sua estrutura (LIMA et al., 2017, p. 87).

Predominantes na matéria orgânica aquática, as SH detêm a maior parcela do carbono orgânico refratário existente nos corpos aquáticos e são importantes na

dinâmica de metais nesses ambientes, além de interagirem com compostos orgânicos como os defensivos agrícolas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) presentes na água (COSTA et al., 2018). A MOD é comumente expressa em termos de COD. Na TABELA 1 são apresentadas as concentrações médias comuns a diferentes águas:

TABELA 1 – COD EM DIFERENTES AMBIENTES

ORIGEM DA ÁGUA	COD (mgL ⁻¹)
Lençóis freáticos	0,7
Precipitação	1,0
Lagos oligotróficos	2,0
Lagos eutróficos	10,0
Áreas alagadas com gramíneas, juncos	15,0
Turfeiras	30,0

FONTE: Adaptado de LEENHEER (1994, tradução minha).

A concentração de COD nos ambientes lacustres podem diferir drasticamente, não somente em função de seu estado trófico, mas também devido a vários fatores internos e às características da bacia de drenagem de cada lago. Ferreira (2014) menciona teores de COD variando de 4,8 a 19,2 mgL⁻¹ em 20 (vinte) lagos estadunidenses; 6,0 a 12,4 mgL⁻¹ em 13 (treze) lagos na Finlândia; e 4,1 a 30,6 mgL⁻¹ em lagos rasos do Zimbábue.

Leenheer (1994) assume o valor de 5,0 mgL⁻¹ como a concentração média de COD para rios, divergindo de diversos estudos realizados em diferentes localidades. Tais diferenças podem ocorrer devido a múltiplos fatores, como uso e ocupação do solo, clima etc., nem sempre apresentando concentrações de COD proporcionais ao grau de poluição – rios poluídos e em regiões urbanas podem ter uma contaminação predominante de compostos inorgânicos, resultando em baixas concentrações de COD, enquanto rios de ambientes mais preservados podem tanto apresentar baixas concentrações de COD, quanto ter concentrações expressivas pela abundante MON.

Se as contribuições de COD nas bacias impactadas por ações antrópicas, as diferentes atividades industriais e agropecuárias, as disparidades no acesso ao saneamento básico e condições climáticas distintas forem consideradas, aumentam as possibilidades teores de COD distintos nas águas fluviais. Neste sentido, são apresentadas algumas concentrações médias em rios de diferentes lugares do mundo na TABELA 2.

TABELA 2 – COD EM RIOS

RIO	COD (mgL ⁻¹)	LOCALIZAÇÃO
Aar	2,6	Suíça
Barigui	15,37 – 27,19	Brasil (PR)
Ganges	1,6 – 14,87	Índia
Heihe	1,39	China
Iguaçu	2,2 – 25,5	Brasil (PR)
Lookout	1,0	EUA
Narmada	4,24	Índia
Negro	4,24 – 11,39	Brasil (AM)
Nilo	2,23 – 11,3	Egito
Pangani	2,5 – 2,7	Tanzânia
Rhine	1,1 – 2,2	Suíça
Rhône	1,0 – 1,5	Suíça
Saint Marys	42,1	EUA
Songhua	7,4	China
Tapajós	1,2 – 8,3	Brasil (PA)
Tapti	8,59	Índia
Thur	2,9	Suíça
Tietê	5,4 – 11,0	Brasil (SP)
Zaire/Congo	7,2 – 11,8	Congo

FONTE: Adaptado de MORTATTI et al. (2006); SPENCER, BUTLER e AIKEN (2012); KNAPIK et al. (2015); RODRÍGUEZ-MURILLO, ZOBRISTB e FILELLA (2015); BADR (2016); GOULART (2017); SELEMANI et al. (2018); MARINHO, MARTINEZ e FILIZOLA-JR (2019); SIDDIQUI e PANDEY (2019); SOUZA et al. (2019).

Schlesinger e Melack (1981) apresentaram valores estimados de carbono orgânico total (COT) transportado pelo escoamento superficial nos diferentes ambientes naturais de todo o planeta, conforme exibido na TABELA 3, obtidos a partir do produto entre a área total do tipo de ecossistema e sua respectiva taxa anual de perda de COT, em gramas de carbono por metro quadrado (gC.m⁻².ano⁻¹). Tais valores demonstram como a variação de cobertura vegetal e ocupação do solo, mesmo nos ambientes naturais, pode contribuir com aportes significativos de carbono orgânico para o interior dos corpos hídricos continentais. A diferença entre os tipos de cobertura vegetal e, conseqüentemente, das interações que ocorrem nos diferentes tipos de biomas e ecossistemas das adjacências de rios, reservatórios e outros ambientes aquáticos, determinam uma parcela importante do carbono aquático.

TABELA 3 – ESTIMATIVA DO TRANSPORTE DE COT DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS COM BASE NAS ÁREAS TERRESTRES E PERDA POR UNIDADE DE ÁREA

TIPO DE ECOSSISTEMA	ÁREA (10 ¹² m ²)	PERDA DE CARBONO ORGÂNICO (gC m ⁻² ano ⁻¹)	(Continua)
			TRANSPORTE TOTAL (10 ¹² gC ano ⁻¹)
Floresta tropical	24,5	5,0	122,5
Floresta temperada	12,0	4,0	48,0
Floresta boreal	12,0	5,0	60,0
Bosques e arbustal/matagal	8,5	4,0	34,0

FONTE: SCHLESINGER e MELACK (1981, p. 182, tradução minha).

LEGENDA: (gC – gramas de carbono)

TABELA 3 – ESTIMATIVA DO TRANSPORTE DE COT DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS COM BASE NAS ÁREAS TERRESTRES E PERDA POR UNIDADE DE ÁREA

		(Conclusão)	
TIPO DE ECOSSISTEMA	ÁREA	TIPO DE ECOSSISTEMA	ÁREA
Pastagem tropical	15,0	1,0	15,0
Prados temperados	9,0	1,0	9,0
Tundra e alpino	8,0	1,0	8,0
Deserto e semideserto	8,0	0,5	4,0
Cultivado	14,0	5,0	70,0
Pântano e pântano	2,0	20,0	40,0

FONTE: SCHLESINGER e MELACK (1981, p. 182, tradução minha).

LEGENDA: (gC – gramas de carbono)

A disponibilidade de COD de origem alóctone impacta diretamente a produtividade dos reservatórios, podendo favorecer organismos capazes de consumi-lo diretamente e promover a sucessão do fitoplâncton pelo bacterioplâncton (PHYOE; WANG, 2019). Na TABELA 4 são apresentadas algumas concentrações médias de COD em reservatórios situados em diferentes locais do planeta, sob influência de ocupações distintas nas adjacências ao reservatório e em sua bacia hidrográfica.

TABELA 4 – COD EM RESERVATÓRIOS

		(Continua)	
RESERVATÓRIO	COD (mgL ⁻¹)	RIO REPRESADO	LOCALIZAÇÃO
Barr	8,69	South Platte	EUA
Barra Bonita	19,034	Tietê	Brasil (SP)
Bear Creek	3,11	Bear Creek	EUA
Blowering	1,690	Tumut	Austrália
Bohyunsan	1,3 a 5,2	–	Coreia do Sul
Burdekin Falls	4,650	Burdekin	Austrália
Capivari	2,500	Capivari	Brasil (PR)
Cargelligo	10,810	–	Austrália
Carter	3,43	–	EUA
Chatfield	2,86	South Platte	EUA
Cherry Creek	6,34	–	EUA
Fairbairn	4,080	Nogoa	Austrália
Foz do Areia	4,180	Iguaçu	Brasil (PR)
Hassel	4,2 a 6,9	Hassel	Alemanha
Horsetooth	3,43	–	EUA
Hume	2,97	Murray	Austrália
Itumbiara	0,99 a 2,59	Paranaíba	Brasil (GO)
Jaime Umbelino	7,18 a 10,11	Poxim-Açu	Brasil (SE)
Main	4,96	–	EUA
Nova Avanhandava	11,65 a 15,39	Tietê	Brasil (SP)
Poção da Ribeira	13,75 a 18,27	Traíras	Brasil (SE)
Rappbode	2,4 a 5,4	Bode	Alemanha

FONTE: Adaptado de ARENZ-JR, LEWIS-JR e SAUNDERS-III (1996); KIM et al. (2000); SBRISIA (2008); FERREIRA (2014); ALCÂNTARA et al. (2015); CHEN et al. (2015); HESTIR et al. (2015); MANNICH et al. (2015); NEVES et al. (2015); RODRIGUES et al. (2016); SANTOS (2016); MARCANTE et al. (2018); MORLING, HERZSPRUNG e KAMJUNKE (2017); TESSAROLLI et al. (2018).

TABELA 4 – COD EM RESERVATÓRIOS

			(Conclusão)
RESERVATÓRIO	RESERVATÓRIO	RESERVATÓRIO	RESERVATÓRIO
Rote Mulde	5,1 a 21,1	Rote Mulde	Alemanha
Salto Natal	1,02 a 1,62	Mourão	Brasil (PR)
Soyang	1,5	Soyang	Coreia do Sul
Standley	1,77	–	EUA
Três Marias	0,93 a 2,71	São Francisco	Brasil (MG)
Wivenhoe	5,06	Brisbane	Austrália

FONTE: Adaptado de ARENZ-JR, LEWIS-JR e SAUNDERS-III (1996); KIM et al. (2000); SBRISSIA (2008); FERREIRA (2014); ALCÂNTARA et al. (2015); CHEN et al. (2015); HESTIR et al. (2015); MANNICH et al. (2015); NEVES et al. (2015); RODRIGUES et al. (2016); SANTOS (2016); MARCANTE et al. (2018); MORLING, HERZSPRUNG e KAMJUNKE (2017); TESSAROLLI et al. (2018).

Estudos que quantifiquem o COD, assim como outros aspectos da MOD são importantes, sobretudo em águas destinadas ao abastecimento público, pois conforme o método de tratamento adotado, podem ser formados subprodutos que oferecem graves riscos à saúde (e.g.: trihalometanos).

2.2.3.1 Trihalometanos: o subproduto do tratamento clorado na presença de matéria orgânica

A água destinada ao consumo humano deve atender a parâmetros de qualidade que tornam necessárias medidas de tratamento e desinfecção. A melhor escolha dos processos de tratamento para remover compostos orgânicos dependerá do caráter dos orgânicos presentes e da qualidade final da água tratada necessária (CRC-WQT, 2005, tradução minha, p. 1).

A presença do fitoplâncton é uma complicação recorrente em ETAs brasileiras que empregam o sistema de tratamento convencional ou Filtração Direta, pois “dependendo da espécie e do número de indivíduos, há a redução da duração das carreiras de filtração, comprometendo seriamente a qualidade da água produzida, principalmente devido à liberação de *metabólicos*” (sic.) (MONDARDO; SENS; MELO-FILHO, 2006, p. 338, grifo meu), sendo vários destes metabólitos potencialmente tóxicos aos vertebrados (CUNHA et al., 2003; MONDARDO; SENS; MELO-FILHO, 2006). Para remover/inativar microrganismos presentes na água dos mananciais muitos sistemas têm como primeira fase do tratamento a pré-cloração (MONDARDO; SENS; MELO-FILHO, 2006). Este processo consiste na adição de cloro a água bruta logo em seguida de sua captação (SABESP, 2020a), conforme esquematizado na FIGURA 7.

FIGURA 7 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO COM PRÉ-CLORAÇÃO



FONTE: SABESP (2020a).

O cloro empregado na desinfecção tem sido utilizado comercialmente de três formas: cloro líquido ou gasoso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio. O cloro gasoso (Cl_2) é aplicado como desinfetante primário em grande parte das ETAs – tanto de água superficial, quanto subterrânea. Outras formas cloradas como hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, cloraminas e dióxido de cloro, também podem ser utilizadas. Sanches, Silva e Vieira (2003) mencionam que, o dióxido de cloro como desinfetante e oxidante aconteceu pela primeira vez na ETA de Niagara Falls, EUA, no ano de 1944. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE “o cloro é o desinfetante mais utilizado, porém existem outros métodos químicos de desinfecção como, por exemplo, ozona; iodo; prata, coloidal ou iônica; sal de cozinha [...]” (IBGE, 2010, p. 211). Além dos métodos químicos, podem ser empregados tratamentos físicos como: “aplicação de calor; irradiação, luz ultravioleta e outros agentes físicos” (MEYER, 1994, p. 100).

Apesar de ainda ser recorrente no Brasil o uso do cloro como agente desinfetante, vários países desenvolvidos vêm substituindo – alguns até proibindo – o uso do cloro no tratamento de água tanto pelos riscos associados a periculosidade do transporte e manejo do gás cloro, quanto pelos malefícios à saúde oriundos da formação dos trihalometanos (THM) formados durante o tratamento das águas para consumo humano. O cloro reage com a matéria orgânica (ácidos fúlvicos, húmicos etc.) presente na água bruta formando diversos subprodutos como: clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e o bromofórmio. Além dos THM, a

desinfecção clorada pode dar origem a outros subprodutos, entretanto a predominância é de espécies halogenadas cujos impactos à saúde têm sido avaliados há décadas (MEYER, 1994; ALEGRIA et al., 1998; BRASIL. Ministério da Saúde, 2006; FURTADO, 2011).

A grande preocupação no que diz respeito aos THM é seu potencial carcinogênico. No Brasil, o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, determinado pelo Ministério da Saúde, tem como valor máximo permissível de THM a concentração de $0,1 \text{ mgL}^{-1}$, ou $100 \text{ }\mu\text{gL}^{-1}$ (BRASIL – Ministério da Saúde, 2006; 2007), igualmente ao padrão canadense. Em outros países, como a França, o limite máximo permitido pode ser até 10 vezes menor, conforme os exemplos apresentados na TABELA 5 (BRASIL. Ministério da Saúde, 2006).

TABELA 5 – CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMISSÍVEL DE THM EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO DE ALGUNS PAÍSES

PAÍS	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA DE TRIHALOMETANOS (μgL^{-1})
Alemanha	25
Brasil	100
Canadá	100
França	10
Holanda	75

FONTE: BRASIL. Ministério da Saúde, (2006)

Visto o uso ainda recorrente do cloro no tratamento de água para abastecimento público, é interessante que os mananciais tenham baixo teor de matéria orgânica, ou que se faça tratamento prévio para reduzi-la e/ou removê-la. A primeira opção é a menos onerosa, entretanto, o cenário atual dos recursos hídricos é configurado pela grande quantidade de corpos aquáticos próximos às áreas urbanas e com carga significativa de poluição – afinal a matéria orgânica natural (MON), é impactada pelos tipos de solo e vegetação presentes na bacia de drenagem, como um todo, e, particularmente, no entorno dos reservatórios. Apesar disso, estudos sobre a dinâmica e a caracterização da matéria orgânica, por meio de diferentes técnicas: como a quantificação do COD, favorecem a compreensão e a previsão da propensão das águas à coagulação, desinfecção e formação de subprodutos da desinfecção (CRC-WQT, 2005).

Dos processos envolvidos na dinâmica da matéria orgânica aquática, as modificações fotoquímicas são de grande relevância para diagnósticos e tomadas de

decisão referentes aos recursos hídricos, pois além da fotodegradação da MON presente nos mananciais por meio da radiação solar, o uso de luz UV artificial pode ser empregado em sistemas de tratamento de águas de diferentes origens, como por exemplo:

- desinfecção após filtração da água em ETA (MACHADO, 2019);
- desinfecção de águas pluviais (WISBECK et al., 2011; SANTOS, 2018; SILVA, F. A. et al. 2018);
- desinfecção de efluente doméstico para reuso ou para atendimento do padrão de lançamento de efluentes determinado pelas agências de regulamentação e fiscalização (SCHNEIDER et al. 2019; SABESP, 2020b); desinfecção em reator UV de baixo custo de efluente sanitário tratado (FOLLMER et al., 2019);
- desinfecção de águas sem contaminação química, por meio de sistema SODIS – exposição de água em recipientes transparentes, como garrafas PET, aos raios solares durante tempo variável em função da região do planeta, estação do ano e característica climática local (CAVALLINI; ARAUJO; LIMA, 2018); etc.

2.3 FOTODEGRADAÇÃO DA MOD

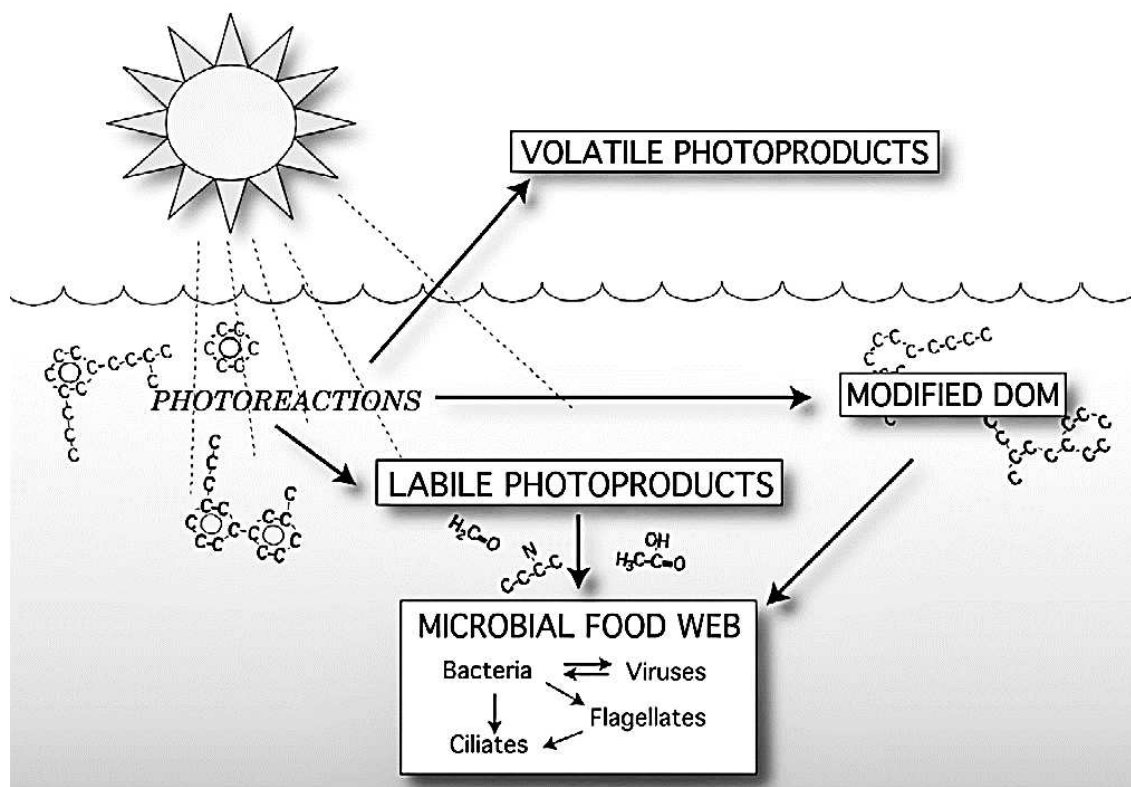
O COD é um dos mais importantes reservatórios de carbono da biosfera, sendo crucial no ciclo global do carbono. No ambiente aquático o COD da matéria orgânica pode tanto ser consumido por bactérias, como pode também ser fotodegradado pela radiação solar, que modifica a sua estrutura molecular – diminui o tamanho das moléculas – e, consequentemente, amplia sua disponibilidade para o bacterioplâncton, ou ainda por oxidá-lo diretamente a gás carbônico (SUHETT et al., 2006; HUDSON; BAKER; REYNOLDS, 2007).

Apesar de a MOD fornecer carbono e energia para as redes alimentares microbianas e do reconhecimento científico desse papel, faltam meios efetivos para caracterizar todos os seus componentes químicos com nível de detalhe e escalas de tempo apropriadas, devido a complexa heterogeneidade química da MOD. Mesmo com dificuldades, houve algumas descobertas como a fotodegradabilidade de suas macromoléculas, transformando-as em formas biologicamente lábeis e passíveis de assimilação direta pelo bacterioplâncton (LEENHEER, 1994; MORAN; COVERT,

2002; SUHETT et al., 2006).

Kieber e Mooper (1987) destacam a importância dos processos fotoquímicos na ciclagem de alguns compostos bioquímicos, refutando o protagonismo dos processos biológicos na degradação da matéria orgânica aquática. A radiação solar atua sobre a MOD diminuindo seu peso molecular médio e alterando seu potencial de absorção da luz, por meio do "branqueamento" nas regiões espectrais ultravioleta (UV) e visível (Vis), e formando diversos fotoprodutos inorgânicos (e.g.: monóxido de carbono – CO, dióxido de carbono – CO₂, sulfeto de carbonila – COS), que normalmente não impactam diretamente a cadeia alimentar microbiana, e moléculas orgânicas menores com vulnerabilidade alterada à biodegradação (MORAN; COVERT, 2002). Em linhas gerais, pode-se dizer que a fotoquímica interfere no suprimento de substratos biológicos, visto que a fotodegradação atua como intermediária entre a MOD e a atividade microbiana de decomposição, conforme esquematizado na FIGURA 8.

FIGURA 8 – FOTODEGRADAÇÃO DA MOD NAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE AMBIENTES AQUÁTICOS E FORNECIMENTO DE SUBSTRATO À TEIA ALIMENTAR MICROBIANA



FONTE: MORAN e COVERT (2002).

Moran e Covert (2002) mencionam grupos de compostos identificados,

conhecidos devido à rápida assimilação pelo bacterioplâncton. Alguns destes fotoprodutos são encontrados apenas em ambientes marinhos ou em ambientes dulcícolas, porém há compostos decorrentes da decomposição da MOD encontrada tanto em ecossistemas de água doce, quanto nos de água salgada, conforme exibido no QUADRO 1. Todos esses compostos foram encontrados a partir da fotodegradação por comprimentos de onda solares naturais, exceto o butanal – fotodegradado por radiação UV-C.

QUADRO 1 – FOTOPRODUTOS BIOLOGICAMENTE LÁBEIS FORMADOS A PARTIR DE MOD DULCÍCOLA E MARINHA

Ecossistemas dulcícolas	Ecossistemas marinhos	Ambos os ecossistemas
<ul style="list-style-type: none"> • Acetato • Aminoácidos livres e combinados dissolvidos (DFAA e DCAA) • Butirato ou butanoato • Carboidratos combinados dissolvidos totais (TDCHO) • Citrato • Formiato, formato ou metanoato • Levulinato • Malonato • Oxalato • Succinato ou ácido succínico 	<ul style="list-style-type: none"> • Acetona • Aminas primárias dissolvidas (DPA) • Butanal, butiraldeído ou aldeído butílico • Glioxal • Metilglioxal • Propanal 	<ul style="list-style-type: none"> • Acetaldeído ou Etanal • Formaldeído • Glioxilato • Piruvato

FONTE: Adaptado de MORAN e COVERT (2002)

A variedade e distinção dos fotoprodutos da MOD em águas doce e salgada pode ter ocorrer tanto por causa das origens da MOD, quanto pelo método analítico escolhido (e.g.: a eletroforese capilar, muito utilizada na identificação dos fotoprodutos da MOD em ambientes de água doce, não é adequada para amostras com salinidade acentuada). Além disso, incertezas quanto a exclusividade de certos fotoprodutos podem ser adicionadas dada a menor quantidade de estudos referentes águas salgadas (MORAN; COVERT, 2002).

As substâncias húmicas – compostos refratários da matéria orgânica – podem sensibilizar ou retardar a fotodegradação de contaminantes associados à matéria orgânica, pois filtram a luz por causa da ampla faixa de comprimentos de onda em que absorvem radiação luminosa – visto que as SH podem adicionar cor à água. Entretanto, o retardo da fotodegradação de determinados compostos orgânicos não deve ser exclusivamente atribuído às SH, pois diferentes fatores influenciam os

diversos aspectos da foto-oxidação (LEAL; ESTEVES; SANTOS, 2015).

2.3.1 Fatores reguladores do processo de fotodegradação da MOD

O processo de fotodegradação da MOD em águas naturais depende de doze fatores-chave:

- a) luz do sol ou radiação solar: é o principal fator chave para a fotodegradação da MOD ou de contaminantes orgânicos presentes na água. Os comprimentos de onda envolvidos correspondem às faixas de 315 a 400 nm, 280 a 315 nm e 400 a 700 nm, respectivamente denominadas UV-A, UV-B e luz visível. Além do tipo de comprimentos de onda, a fotodegradação vai depender da profundidade de penetração da radiação, que pode ser significativamente variável (ZAFIRIOU et al., 1984; SUHETT et al., 2006; AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b). É importante destacar que a fotodegradação também pode ocorrer sob irradiação artificial, mas apesar de ser prática comum em diversos experimentos a utilização de luz artificial UV-C, cuja radiação emitida contempla a faixa do espectro eletromagnético de 200 a 280 nm, há relevância ecológica questionável de tais resultados, pois os raios UV-C são absorvidos pelos componentes da atmosfera terrestre (MORAN; COVERT, 2002; MOSTOFA et al., 2013b). Adicionalmente, Benner e Biddanda (1998) e Obernosterer, Reitner e Herndl (1999) apontam evidências de que, em alguns casos, a exposição à luz solar pode diminuir, em vez de aumentar, as taxas subsequentes de biodegradação da MOD na superfície marinha ou estuarina, possivelmente devido a formação fotoquímica de compostos refratários – de difícil biodegradação – superar a formação de compostos lábeis. No entanto, Moran e Covert (2002), enfatizam que tal fenômeno se aplica a casos peculiares, pois verificaram consistentes efeitos líquidos positivos na biodegradação, com a remoção de até dois terços da MOD fotoquimicamente reativa – assim como Tranvik e Kokalj (1998), que atribuem os efeitos inibitórios, em ecossistemas marinhos e dulcícolas, à MOD recentemente produzida por algas e sugerem que o efeito líquido da irradiação solar em MOD de origem terrestre (principalmente a derivada de plantas vasculares) favorece a biodegradação.

- b) temperatura da água: é determinada, principalmente, pela radiação solar (SILVA et al., 2008; IT-UFRRJ, 2020), à exceção de águas sob influência de atividades antrópicas que produzam efluentes de temperaturas elevadas, como certas indústrias, usinas termelétricas e/ou atômicas que operem nas adjacências do lago ou reservatório (IT-UFRRJ, 2020). Além disso, a temperatura da água é, também, fortemente impactada pela temperatura do ar, que pode variar de 0 a aproximadamente 50 °C conforme a região do planeta. Baixas temperaturas da água reduzem a cinética de reação da MOD, (ZAFIRIOU et al., 1984; SUHETT et al., 2006; MOSTOFA et al., 2013b), pois a decomposição de detritos orgânicos no hipolímnio de lagos temperados pode ser de 4 a 9 vezes mais lenta do que em lagos tropicais, devido a diferença de temperatura poder ser de, pelo menos, 20°C (ESTEVES, 1998; IT-UFRRJ, 2020).
- c) efeitos do ferro total dissolvido e reação foto-Fenton: a concentração de ferro total dissolvido é um dos fatores mais importantes para a fotodegradação da MOD nos corpos hídricos, por meio da reação foto-Fenton ou por processos independentes de radical hidroxila ($\text{HO}\bullet$). Esses radicais reagem no meio aquático contribuindo para a decomposição da matéria orgânica (ZAFIRIOU et al., 1984; SUHETT et al., 2006; MOSTOFA et al., 2013b);
- d) ocorrência e quantidade dos íons nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-): pode afetar a fotodegradação da MOD, pois ambos os íons são eficientes na produção de $\text{HO}\bullet$ pela fotólise da água. Águas naturais com altas concentrações de íons NO_2^- e NO_3^- poderiam induzir a degradação da MOD pela fotodegradação de $\text{HO}\bullet$, mas a taxa de mineralização de MOD na água acidificada excede em muito a taxa de geração de $\text{HO}\bullet$ por todas as fontes, sugerindo que processos independentes de $\text{HO}\bullet$ também possam ter papel importante na mineralização MOD (ZAFIRIOU et al., 1984; MOSTOFA et al., 2013b);
- e) natureza molecular da MOD: fator que diz respeito absorvância intrínseca de cada substância orgânica presente na matéria orgânica dissolvida cromófica (MODC) ou fluorescente (MODF), e é relacionado a fotossensibilidade dos constituintes orgânicos da MOD. Por exemplo, a MOD com alto peso molecular pode absorver tanto radiação das

regiões de comprimento de onda visível, quanto das regiões de comprimentos mais curtos, enquanto diversos ácidos orgânicos de baixo peso molecular absorvem apenas radiação UV-C (ZAFIRIOU et al., 1984; MORAN; COVERT, 2002; SUHETT et al., 2006; AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b);

- f) pH e alcalinidade: a diminuição do pH – acidificação do meio – pode acelerar a fotodegradação da MOD, pois proporciona a maior exposição de partes foto-reativas das moléculas; e o aumento da alcalinidade pode desacelerar o processo de fotodegradação da MOD (ZAFIRIOU et al., 1984; SUHETT et al., 2006; AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b);
- g) oxigênio dissolvido (OD): A maioria das reações fotoquímicas envolve o OD, por ser um aceitador de elétrons e participar de reações secundárias. Maiores concentrações de OD elevam as taxas de fotodegradação (ZAFIRIOU et al., 1984; AMON; SUHETT et al., 2006; BENNER, 1996; MOSTOFA et al., 2013b).
- h) profundidade e transparência: a fotodegradação é mais alta nas camadas superiores da coluna d'água devido a penetração da radiação. Baixas concentrações de sólidos suspensos ou material particulado na água podem permitir que a penetração da radiação solar na água seja mais profunda, proporcionando maior potencial de fotodegradação da MOD nas camadas mais profundas (ZAFIRIOU et al., 1984; MOSTOFA et al., 2013b).
- i) mistura física na zona mista de superfície: processo que – pela ação de fatores como vento, precipitação pluviométrica, estratificação da coluna d'água etc. – permite que os reagentes das reações químicas entrem em contato com maior frequência, acelerando a taxa de reação, além de trazer material particulado e MOD de camadas mais inferiores para a superfície permitindo exposição à radiação solar (ZAFIRIOU et al., 1984; ESTEVES, 1998; MORAN; COVERT, 2002; AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b; IT-UFRRJ, 2020);
- j) aumento da radiação UV por buracos na camada de ozônio: variante do fator descrito no item a – resultante da emissão de poluentes agressivos à atmosfera – maior exposição à radiação solar, inclusive permitindo que a radiação UV-C, que seria filtrada pelo ozônio atmosférico, chegue à

superfície terrestre e penetre na água, aumentando, conseqüentemente, as taxas de fotodegradação (AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b);

- k) aquecimento global: fenômeno pelo qual os períodos quentes são prolongados e/ou intensificados, elevando a temperatura da água e acelerando o processo de fotodegradação – para além do esperado em função da sazonalidade. É uma especificidade ligada ao fator já descrito no item b, porém resultante da interferência antrópica nociva aos diversos processos naturais (AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b);
- l) salinidade: os íons cloreto e brometo, presentes em águas com salinidade considerável, podem elevar a taxa de fotodegradação da MOD independentemente da presença ou ausência de íons carbonato (ZAFIRIOU et al., 1984; SUHETT et al., 2006; AMADO, 2008; MOSTOFA et al., 2013b).

2.3.2 Estudos precursores sobre fotodegradação da MOD

Em 1978, Strome e Miller sugeriram um elo entre a fotodegradação da MOD e a atividade biológica, descrevendo um “efeito primário” da radiação solar na biodegradação da MOD e, em 1986, Geller trouxe de volta ao cenário científico a ideia das ligações fotoquímicas entre a MOD e os microrganismos e o potencial da fotoquímica interferir na disponibilidade de substratos biológicos tornou-se mais amplamente reconhecido (MORAN; COVERT, 2002).

Backlund (1992), submeteu amostras de água do lago finlandês Savojärvi aos tratamentos de radiação UV e peróxido de hidrogênio associado a irradiação UV, monitorando os efeitos sobre o conteúdo de COD, a absorbância de UV a 254 nm, distribuição do tamanho molecular, entre outras variáveis. As macromoléculas foram transformadas em moléculas menores devido a irradiação e a diminuição da concentração do COD foi maior conforme maior tempo de irradiação. Os fotoprodutos obtidos em maior quantidade foram os ácidos oxálico, acético, malônico e n-butanoico.

Tranvik e Bertilsson (2001) observaram os efeitos da radiação UV na biodisponibilidade da MOD em vários lagos. A fotodegradação da MOD complexa produziu ácidos carboxílicos facilmente utilizados por bactérias, porém em diversos lagos diminuiu a capacidade da MOD suprir o crescimento bacteriano. Verificaram que as substâncias húmicas predominantemente se transformam em formas mais lábeis,

enquanto os fotoprodutos da MOD derivada de algas consistem em substrato com menor aproveitamento bacteriano.

Segundo Moran e Covert (2002), muitos estudos visaram quantificar os efeitos a longo prazo da fotodegradação da MOD, focando na MOD transportada de ambientes terrestres para marinhos. Embora com enfoque na mineralização de carbono em fotoprodutos voláteis – sem impacto direto sob a atividade bacterioplanctônica – alguns estudos incluíram especificamente fotoprodutos biologicamente lábeis em seus modelos.

Após a fotodegradação de água marinha superficial rica em húmus, da costa oeste da Flórida, Mopper e Stahovec (1986) identificaram compostos carbonílicos de baixo peso molecular – especialmente formaldeído, acetaldeído, acetona e glicoxal – por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC). A variação da concentração do acetaldeído foi de 2 a 3 nM durante a noite e 20 a 30 nM durante o dia, enquanto o formaldeído, oscilou menos, variando de 15 a 50 nM. Para amostras do mesmo local, Kieber e Mooper (1987) observaram a formação de glicoxilato e piruvato em taxas maiores do que as obtidas para a água pobre em matéria orgânica coletada na corrente do Golfo. Além disso, os autores mencionam que ao testar amostras não filtradas previamente à fotodegradação (para remoção de microrganismos), houve variações decorrentes do desequilíbrio entre a biodegradação e a fotodegradação. A concentração do piruvato não variou nitidamente conforme a profundidade da coluna d'água, ao contrário do glicoxilato.

Obernosterer, Reitner e Herndl (1999), afirmam que a biodisponibilidade dos fotoprodutos da MOD é reduzida, se a razão entre a atividade bacteriana e a concentração do COD for alta – indicativa de MOD lábil. Se a taxa de atividade bacteriana por concentração de COD for baixa – indicativo de MOD mais refratário – a biodisponibilidade da MOD é aumentada conforme ocorre a exposição à radiação solar.

Bushaw-Newton e Moran (1999) analisaram a fotodegradação de SH dissolvidas, com ênfase em sua parcela nitrogenada, gerando fotoprodutos mais biologicamente disponíveis, e em dois estuários situados no sudeste dos EUA. As SH irradiadas com a luz solar natural disponibilizaram componentes de C e N, favorecendo o crescimento bacteriano. Os fotoprodutos inidentificáveis obtidos consistiram em amônio e aminas primárias dissolvidas.

Em águas com teores muito baixos de COD, há maior dificuldade nas

mensurações para estimar as taxas de fotodegradação, devido às limitações na sensibilidade dos métodos analíticos disponíveis, dificuldade para medir diretamente a foto-oxidação em ambientes marinhos e estuarinos – explicando a maior disponibilidade de estudos sobre foto-oxidação da MOD em água doce. Sob o ponto de vista climático, são verificadas maiores taxas de fotodegradação em ecossistemas tropicais, pelos seguintes fatores: alta incidência solar durante o ano todo, às maiores concentrações de COD e aumentos sazonais da sua fotorreatividade (SUHETT et al., 2006).

2.4 TÉCNICAS PARA ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA AQUÁTICA

A matéria orgânica aquática pode ser analisada a partir do uso de diferentes técnicas e sob os aspectos qualitativo e quantitativo, sendo escolhidas a partir de fatores como aspecto estudado, tipo de amostra, tempo, acesso à infraestrutura analítica, orçamento disponível etc. São descritas a seguir particularidades de alguns métodos disponíveis e dos utilizados no presente estudo.

2.4.1 Oxidação por combustão catalítica para quantificação do carbono orgânico

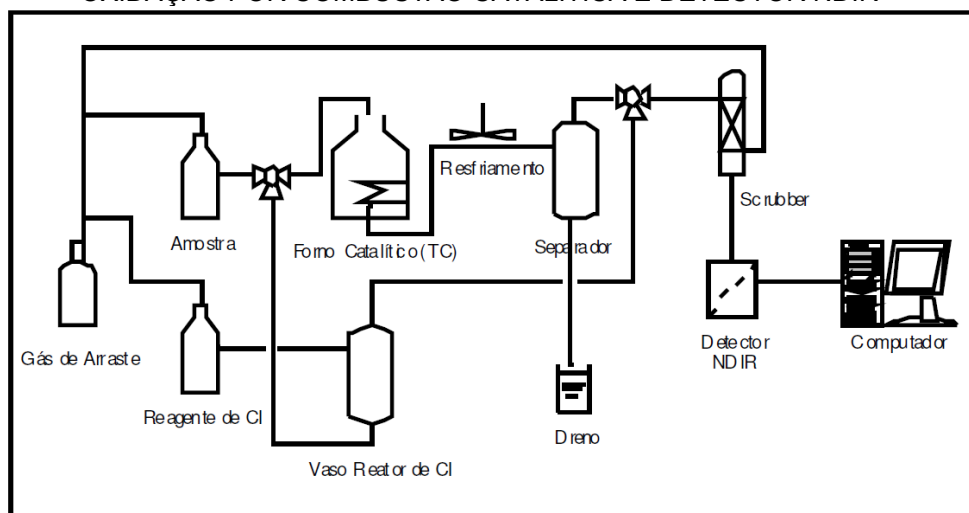
A análise quantitativa de carbono orgânico ocorre a partir da transformação de todas as substâncias orgânicas da amostra em CO_2 . Tal conversão pode se dar por diferentes métodos como: (a) combustão seca ou úmida; (b) digestão; (c) oxidação e dosagem do agente oxidante remanescente; (d) titulometria; (e) volumetria, entre outros. Seja pelo método empregado ou devido a composição química da amostra analisada, é possível que existam resultados diferentes. Outrossim, os fatores de conversão das concentrações de C em MO em compostos podem diferir entre si (CARMO; SILVA, 2012; BENEDETTI, 2012).

Para amostras líquidas é usual a determinação indireta do COT por meio do método de oxidação por combustão catalítica – um tipo de combustão úmida – que o quantifica a partir da diferença entre as concentrações do carbono total (CT) e de sua fração inorgânica (CI). Neste método uma alíquota é utilizada para quantificar o CT e outra para o CI a partir do CO_2 gerado pela oxidação ácida da amostra em temperaturas elevadas, detectado por sensor infravermelho não dispersivo (IVND), mais conhecido pela nomenclatura em língua inglesa “non-dispersive infrared” (NDIR).

O método é de fácil adaptação a automatização analítica e pode ser sensível a detecção de baixas concentrações (BENEDETTI, 2012).

Clementino, Rolim-Neto e Alencar (2008) apresentam um protocolo de quantificação do carbono orgânico total (COT) em águas utilizadas pela indústria farmacêutica – para atender as exigências de normas reguladoras recentes – no qual utilizaram o analisador de COT da marca Shimadzu®, modelo TOC-VCPH. O equipamento quantifica o carbono total (CT) e o inorgânico (CI) e calcula o COT a partir da diferença entre os valores de CT e CI, obtidos após a oxidação catalítica dos compostos carbonáceos presentes na amostra submetida à 680°C, para que corra a combustão que os transformam em CO₂. Dependendo de qual for seu suporte de acessórios e de como for configurado, pode quantificar o CT, o CI, o COT e o carbono orgânico não purgável (CONP) de soluções aquosas sob concentrações variáveis de 4,0 µg/L a 25.000 mg/L. Outra descrição do mesmo equipamento e método analítico aponta a faixa de detecção de 2,0 mg/L a 1.000,0 mg/L (DEQUI-UFRGS, 2020). A FIGURA 9 ilustra o funcionamento do sistema analítico.

FIGURA 9 – FLUXOGRAMA ESQUEMÁTICO SIMPLIFICADO DO SISTEMA ANALÍTICO DE OXIDAÇÃO POR COMBUSTÃO CATALÍTICA E DETECTOR NDIR



FONTE: CLEMENTINO, ROLIM-NETO e ALENCAR (2008).

Dada a amplitude de capacidade de detecção e a capacidade de quantificar baixas concentrações de carbono orgânico, o equipamento tem bom potencial no estudo de águas de reservatórios bastante limpos, destinados ao abastecimento público, sendo uma opção “de baixo nível de detecção (ppb), baixo tempo de análise, baixo custo analítico quando comparado a outros métodos e que pode detectar toda fonte de carbono residual” (CLEMENTINO; ROLIM-NETO; ALENCAR, 2008, p. 74).

2.4.2 Análises espectroscópicas

A composição da água consiste em uma mistura complexa de materiais com diferentes propriedades ópticas que interagem com a luz de diferentes maneiras, em função de sua natureza e concentração. Dentre os diversos componentes presentes, que podem variar espacial e temporalmente, três de reconhecida importância – além da água pura – são o fitoplâncton, os particulados suspensos (orgânicos e inorgânicos) e a matéria orgânica dissolvida – MOD. “Estes são os principais componentes opticamente ativos que afetam os coeficientes de absorção e de espalhamento na água” (p. 239) (ALCÂNTARA et al., 2015).

Diversas técnicas analíticas têm sido empregadas para analisar a MOD aquática, como o método espectrofotométrico/colorimétrico de Sheng et al. modificado por Šír et al. (2012), a espectroscopia de ressonância magnética nuclear, a cromatografia de exclusão de tamanho de alto desempenho, a cromatografia associada à espectrometria de massas e a espectroscopia de fluorescência (LIMA et al., 2017). Vários estudos demonstram o emprego de técnicas espectroscópicas para rastrear, identificar e caracterizar a matéria orgânica presente em diversos ambientes. O QUADRO 2 apresenta, resumidamente, estudos – essencialmente relacionados a matéria orgânica, mas também a componentes secundários associados, como matéria mineral adsorvida, fotocatalizadores metálicos e metais traço – que empregaram a espectroscopia de absorbância no UV-Vis e de emissão de fluorescência.

QUADRO 2 – ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES E CLIMAS

(continua)

ABORDAGEM	AMBIENTE	LOCAL E CLIMA (KÖPPEN)	ANÁLISES	REFERÊNCIA
Caracterização da MOD	Reservatório	Alemanha (climas Cfb e Dfb)	Espectroscopia de fluorescência (MEE) e absorbância UV-Vis	Morling, Herzsprung e Kamjunke (2017)
Propriedades de fluorescência de ácidos fúlvicos extraídos de riachos e rios (com matéria orgânica terrestre) e de lagos (com matéria orgânica microbiana)	Lacustre	Antártida (climas EF e ET)	Espectroscopia de fluorescência	McKnight et al. (2001)

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 2 – ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES E CLIMAS

(continuação)

ABORDAGEM	AMBIENTE	LOCAL E CLIMA (KÖPPEN)	ANÁLISES	REFERÊNCIA
Variação espacial e temporal da qualidade da água e caracterização da matéria orgânica	Reservatório	Brasil-PR (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência (MEE) e absorbância UV-Vis	Godoy (2017)
Caracterização de AH de solos amazônicos	Solo	Brasil-AM (clima Af)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis (MEE)	Paula et al. (2014)
Caracterização da MON dissolvida da Lagoa dos Patos-MS)	Lacustre	Brasil-MS (clima Cfa)	Espectroscopia de fluorescência (MEE e espectros síncronos) e absorbância UV-Vis	Azevedo (2005)
Caracterização de SH extraídas do ambiente (solo, água e sedimentos da Lagoa dos Patos-MS)				Azevedo e Nozaki (2008)
Avaliação da aplicabilidade conjunta da espectroscopia (fluorescência e UV-Vis) e da concentração de COD para a caracterização (principais fontes e composição) e monitoramento da MOD.	Fluvial	Brasil-PR (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência (MEE) e absorbância UV-Vis	Knapik, Fernandes e Azevedo (2014)
Caracterização e avaliação da variabilidade (espacial e temporal) da MOD de rios da RMC				Leithold (2017)
Caracterização da matéria orgânica fluvial e lacustre em bacias urbanizadas: e comparação de padrões de espectrometria de fluorescência e UV-Vis	Fluvial e lacustre	Brasil-PR (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis	Bem et al. (2013)
Caracterização da MOD	Reservatório		Espectroscopia de fluorescência (MEE e espectros síncronos) e absorbância UV-Vis	Marcante et al. (2018)
Caracterização da MOD em água de sistemas de abastecimento público da RMSP	Estação de tratamento de água	Brasil-PR (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência (MEE) e absorbância UV-Vis	Laganaro et al. (2017)
Diferenças na reatividade óptica e biológica dos componentes húmico e não-húmico do COD em dois ambientes marinhos costeiros contrastantes	Marinho	Croácia (clima Cfa) Holanda (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina) e absorbância UV-Vis	Obernosterer e Herndl (2000)

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 2 – ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES E CLIMAS

(continuação)

ABORDAGEM	AMBIENTE	LOCAL E CLIMA (KÖPPEN)	ANÁLISES	REFERÊNCIA
Propriedades de fluorescência de ácidos fúlvicos extraídos de riachos e rios (com matéria orgânica terrestre) e de lagos (com matéria orgânica microbiana)	Fluvial e Lacustre	EUA (climas BSk, Cfa, Csb, Dfa, Dfb, Dwb)	Espectroscopia de fluorescência	McKnight et al. (2001)
Biodisponibilidade de fotoprodutos de SH marinhas para o bacterioplâncton	Estuarino	EUA (clima Cfa)	Espectroscopia de fluorescência (excitação: 342 nm; emissão: 452 nm)	Bushaw-Newton e Moran (1999)
Transformações fotoquímicas da MOD	Estuarino Fluvial	EUA (clima Cfa) Curaçao (clima BSh)	Espectroscopia de absorvância UV-Vis	Ziegler e Benner (2000)
Influência de curtas exposições do COD à luz solar natural na labilidade do DOC e suas taxas de biodegradação			Espectroscopia de fluorescência (MEE) e absorvância UV-Vis	Moran Sheldon-Jr e Sheldon (1999)
Perda de carbono e mudança nas propriedades ópticas durante a degradação fotoquímica e biológica da MOD oriunda de rios tributários estuarinos				Moran, Sheldon e Zepp (2000)
Efeitos da radiação solar na MOD e sua biodisponibilidade para o bacterioplâncton marinho	Marinho	Estreito de Gibraltar e Mar Egeu (clima Csa)	Espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina)	Obernosterer, Reitner e Herndl (1999)
Estimativa da concentração de COD a partir da fluorimetria e absorvância da MOD cromófica	Aquífero basal	Nova Caledônia (climas Af e Am)	Espectroscopia de fluorescência e absorvância UV-Vis	Rochelle-Newall et al. (2014)
Caracterização do COD em estudo dos efeitos do uso e ocupação do solo no transporte do COD da drenagem superficial ribeirinha para riachos	Lençol freático ou aquífero subterrâneo	Nova Zelândia (clima Cfb)	Espectroscopia de fluorescência e absorvância UV-Vis	Findlay et al. (2001)
Investigação do efeito retardador de substâncias húmicas na fotodegradação de contaminantes, devido a filtragem da luz.	Experimento de bancada	Portugal (clima Csb)	Espectroscopia absorvância UV-Vis	Leal, Esteves e Santos (2015)
Fotodegradação da oxitetraciclina na aquicultura marinha	Tanque de aquicultura (água salada)		Espectroscopia absorvância UV-Vis	Leal, Esteves e Santos (2016)
Estudo dos efeitos dos íons cálcio e magnésio na fotodegradação da oxitetraciclina em água salobra de aquicultura	Tanque de aquicultura (água salobra)		Espectroscopia absorvância UV-Vis	Leal, Esteves e Santos (2019)

FONTE: A autora (2020).

QUADRO 2 – ANÁLISES ESPECTROSCÓPICAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES AMBIENTES E CLIMAS

(conclusão)

ABORDAGEM	AMBIENTE	LOCAL E CLIMA (KÖPPEN)	ANÁLISES	REFERÊNCIA
Mudanças induzidas fotoquimicamente nos "pools" de carbono e nitrogênio biodisponíveis em uma bacia hidrográfica boreal	Fluvial e subterrânea	Suécia Portugal (clima Dfb)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis	Bertilsson et al. (1999)
Transformações fotoquímicas da MOD em lagos	Lacustre	Suécia e Portugal (climas Cfb, Dfb, Dfc)	Espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina) e absorbância UV-Vis	Bertilsson e Tranvik (2000)
Efeitos contrastantes dos fotoprodutos da MOD sobre o crescimento bacteriano, em função da origem e natureza das fontes orgânicas.	Lacustre	Suécia e Portugal (clima Cfb)	Espectroscopia de absorbância UV-Vis (análise da MOD) e análise fluorimétrica da clorofila- α	Tranvik e Bertilsson (2001)
Deteção de contaminantes orgânicos infiltrados ao longo da rede de abastecimento	Rede de abastecimento (água potável)	Suécia (clima Dfb)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis	Heibati et al. (2017)
Avaliação da fotodegradação de AH, na presença de montmorilonita, para remoção fotocatalítica dióxido de titânio (modelo para estimativa em águas naturais, visando maior eficácia no tratamento de água)	Experimento de bancada	Turquia (clima Csa)	Espectroscopia UV-Vis [porções formadoras de cor (Color436) e centros de absorção de 365 e 254 nm]	Sem-Kavurmaci e Bekbolet (2013)
Estimativa da concentração de COD a partir da fluorimetria e absorbância da MOD cromófica	Lixiviado do solo (diferentes condições de compostagem)	Vietnã do Norte (clima Cwa)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis	Rochelle-Newall et al. (2014)
Estimativa da concentração de COD a partir da fluorimetria e absorbância da MOD cromófica	Marinho e marinho costeiro			
Estimativa da concentração de COD a partir da fluorimetria e absorbância da MOD cromófica	Lacustre	Zimbábue (clima BSh)	Espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis	Rochelle-Newall et al. (2014)

FONTE: A autora (2020).

As técnicas de espectroscopia de absorbância (UV-Vis) e de fluorescência – pelas quais são obtidos os espectros de emissão em vários comprimentos de onda de excitação, resultando na matriz excitação-emissão (MEE) – são aplicadas para

caracterizar, diferenciar e classificar a MON (AZEVEDO; NOZAKI, 2008), pois apesar de ainda não haver técnica espectroscópica capaz de quantificar diretamente a MOD, as medições ópticas podem rastrear alterações sutis na qualidade da água. A sensibilidade da espectroscopia de fluorescência é considerável, podendo indicar modificações na composição da MOD (HEIBATI *et al.*, 2017). As propriedades de fluorescência e de absorção da MODC vêm sendo frequentemente estudadas como uma alternativa rápida às análises químicas de quantificação do teor de COD em águas naturais, porém ainda existem diversos pontos a serem ajustados para que o método seja mais preciso e eficiente para uma ampla gama de sistemas, pois onde a variabilidade das fontes de COD e MOD cromófica é alta, a concentração estimada pode ter alto grau de incerteza (ROCHELLE-NEWALL *et al.* 2014).

2.5 TÉCNICAS PARA ESTUDO DA FOTODEGRADAÇÃO

O QUADRO 3 resume os passos metodológicos mais comumente empregados nos diversos estudos de fotodegradação da matéria orgânica aquática, reunidos por SUHETT *et al.* (2006).

QUADRO 3 – PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA O ESTUDO DA FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

ETAPA	PROCEDIMENTO	VARIAÇÕES
Separação entre COD e COP	Filtração	Porosidade da membrana filtrante (0,2; 0,45; 0,7; 1,2 μm)
Fotodegradação	Exposição à radiação luminosa	Luz natural Luz artificial UV
Verificação das variações de propriedades em função da fotodegradação	Quantificação do carbono (orgânico e/ou inorgânico)	Fração quantificada/analisaada (COD, COP, CID etc.)
	Deteção dos fotoprodutos	Cromatografia (HPLC ou de eletroforese capilar)
	Mensuração do fotobranqueamento ou capacidade de absorver a luz	Espectroscopia de absorbância em determinado(s) comprimento(s) de onda (320; 350; 430; 440 nm, dentre outros)
		Espectroscopia de fluorescência/ fluorimetria
Verificação da biodisponibilidade da MOD	Experimentos com culturas bacterianas (variação do crescimento populacional)	Microscopia ou citometria de fluxo
	Medição da produção e respiração bacterianas	DBO, quantificação de carbono, oxigênio, análises titulométricas, espectroscópicas etc.

FONTE: Adaptado de SUHETT *et al.* (2006).

Em estudos de fotodegradação da MOD em águas naturais, as mudanças na fluorescência, pela presença ou ausência de picos, ou mudanças em suas intensidades relativas, são possíveis conforme as transformações fotoquímicas (HUDSON; BAKER; REYNOLDS, 2007).

Em águas fluviais com aporte de matéria orgânica alóctone e de lagos com predominância de matéria orgânica autóctone, picos de emissão de fluorescência com maior definição foram observados em comprimentos de onda mais baixos nos AF autóctones do que nos alóctones, por McKnight et al. (2001). Além disso, verificaram que a razão entre a intensidade de emissão nos comprimentos de onda de 450 nm e 500 nm, obtidos com uma excitação de 370 nm, pode ser uma ferramenta simples para identificar a origem dos AF: 1,9 para autóctone e 1,4 para alóctone. A aplicação do índice de fluorescência pode otimizar a interpretação das fontes de COD e favorecer a compreensão do ciclo de carbono em ecossistemas aquáticos.

A fluorescência da MOD pode ser indicadora sensível das alterações na qualidade da água em sistemas de abastecimento público, se potenciais interferentes forem considerados, como metais vestigiais, pois aumentam os limiares de detecção de variações da MOD. Promovem uma estabilização do sinal de fluorescência, a partir da presença do cobre que permitiria a detecção de uma infiltração de cerca de 2% de água oriunda do solo, ou ainda infiltrações menores de efluentes orgânicos (HEIBATI et al., 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

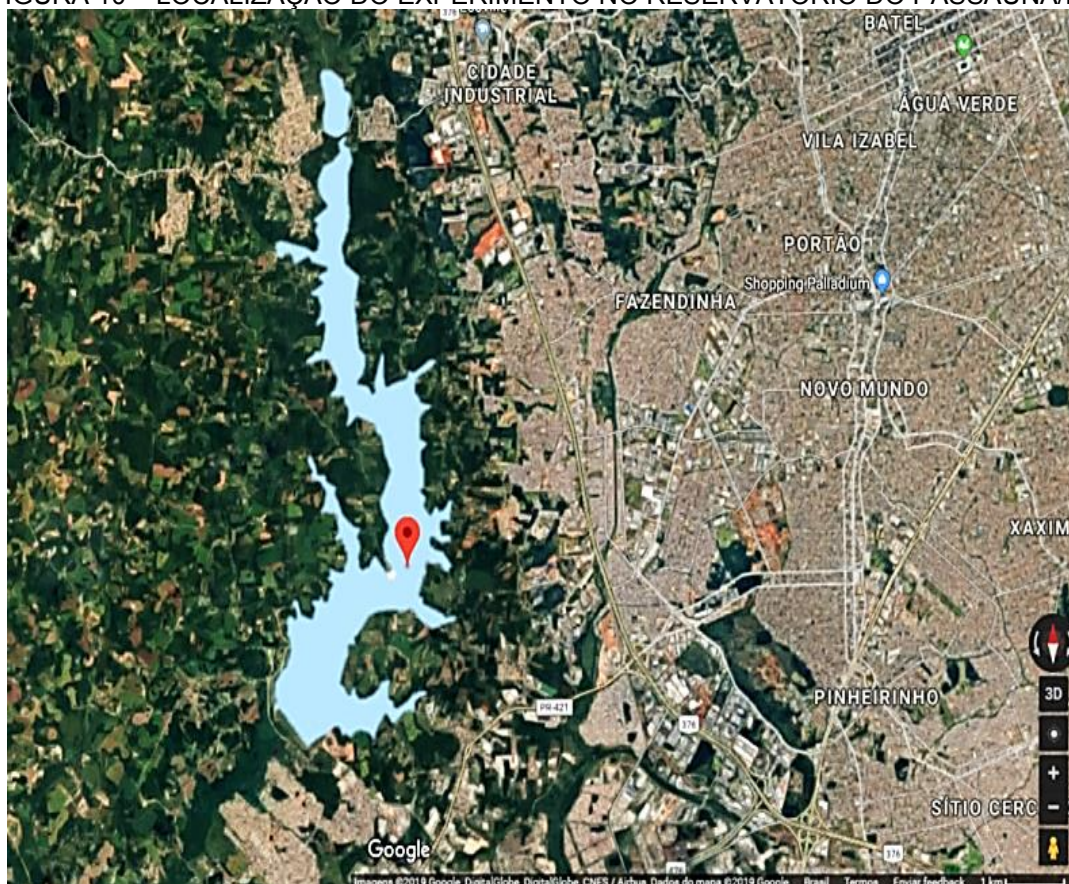
Neste estudo sobre a fotodegradação da MOD, foram realizados dois experimentos de campo, no reservatório do Passaúna. Serão descritos e explicados a longo desta seção, detalhes referentes: à área de estudo; aos procedimentos de coleta, conservação e tratamento das amostras; à execução do experimento de investigação sobre a fotodegradação; às análises químicas e físicas para a caracterização ambiental e determinação das taxas de fotodegradação; e ao processamento e às análises de dados.

A pesquisa documentada nesta dissertação, assim como parte dos dados complementares que contribuíram para este estudo, fazem parte do projeto Multidisciplinary Data Acquisition as a Key for a globally applicable Water Resource Management – Mudak-WRM que resulta da “cooperação com os gestores dos reservatórios [...] e órgãos administrativos relacionados [...] para aperfeiçoar a gestão de recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade” e tem por objetivo “mostrar as consequências de mudanças ambientais na bacia [hidrográfica] e nos fluxos de água e substâncias por ela transportadas para [...] reservatórios de tamanho médio, porque representam a maioria dos reservatórios existentes no planeta. Espera-se assim, atingir uma portabilidade global dos métodos e resultados obtidos para problemas similares”, a partir de estudos de caso dos reservatórios Passaúna e Piraquara II, no Brasil, e Wupperverband, na Alemanha (BLENINGER, 2018).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi instalado no reservatório do Passaúna, na área da captação para abastecimento público de água, realizada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). O local para amostragem de água e incubação das amostras, situado sob as coordenadas latitude -25.5115711, longitude -49.3716873 (FIGURA 10), foi escolhido pela relevância do diagnóstico da água nesse local, visto seu emprego no abastecimento público (tomada de água da concessionária), bem como por sua maior profundidade, acesso restrito e transparência da coluna d'água.

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR

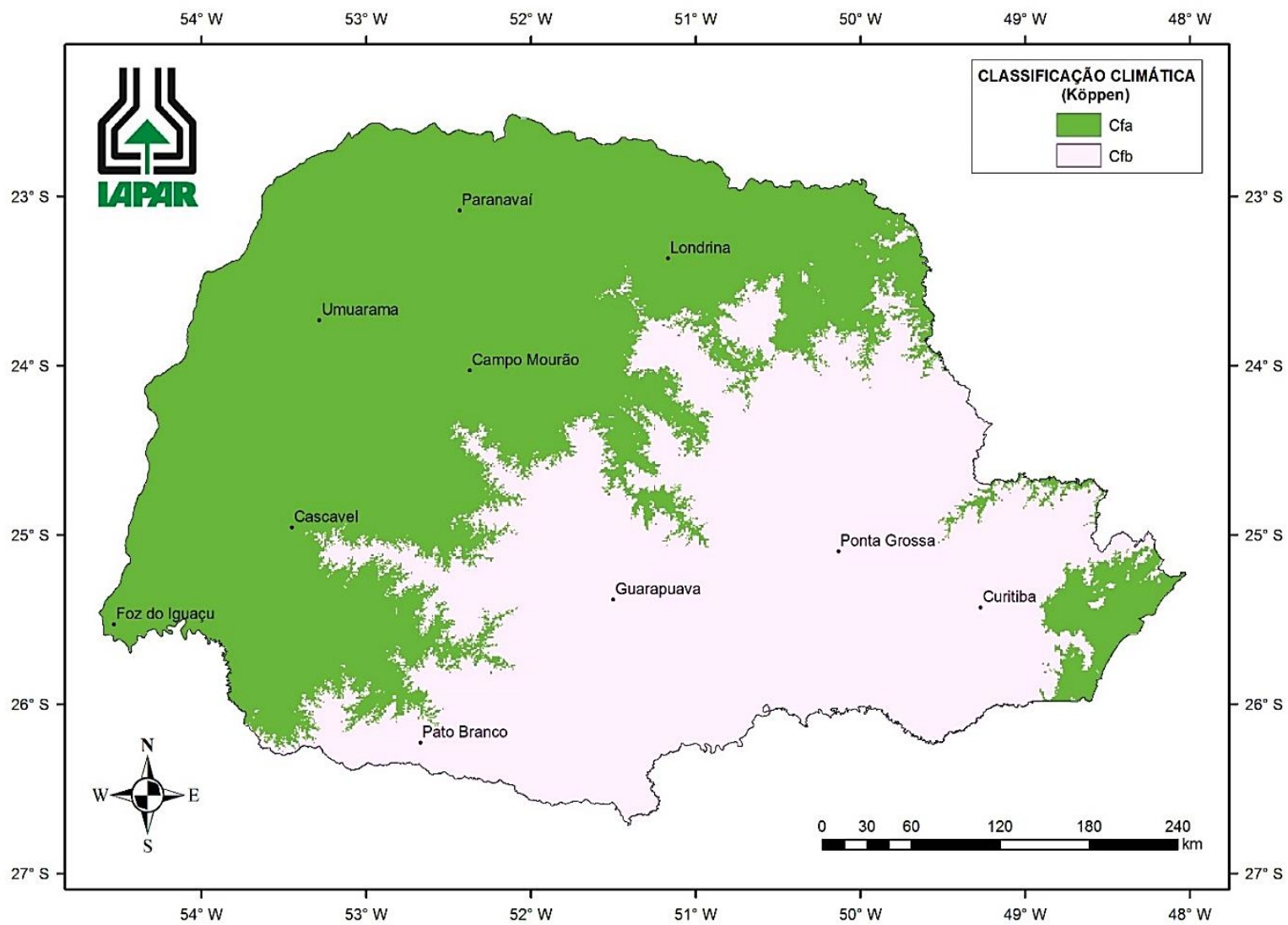


FONTE: Adaptado de GOOGLE MAPS (2020).

O clima da região pode ser classificado – segundo a classificação climática de Köppen (1936) – como temperado oceânico, temperado marítimo ou mesotérmico húmido (FIGURA 11). Tal tipo climático, identificado pela sigla Cfb, é caracterizado essencialmente por apresentar estação seca indefinida, com elevada pluviosidade local, atingindo as precipitações máximas durante o verão – principalmente nos meses de entre janeiro e fevereiro – e os menores volumes pluviométricos durante o outono e o inverno – entre os meses de abril e agosto (DIAS, 1997; BUSCH, 2009; PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017; IAPAR 2020). Segundo Dias (1997):

o clima da região de Curitiba é determinado pelas grandes linhas orográficas que limitam o Primeiro Planalto Paranaense, Serra do mar, e Escarpa Devoniana. Estes sistemas orográficos, combinados com as altitudes regionais de 850 a 950 metros e a posição geográfica ao sul do trópico de Capricórnio, caracterizam o clima como Temperado úmido (p. 7).

FIGURA 11 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA (KÖPPEN) PARA O ESTADO DO PARANÁ



FONTE: IAPAR (2020)

O rio Passaúna é um dos principais tributários do rio Iguaçu – o maior rio totalmente inserido no estado do Paraná – e sua área de drenagem, denominada sub-bacia do Passaúna está localizada entre as sub-bacias dos rios Barigui e Verde na unidade hidrográfica do Alto Iguaçu (FIGURA 12). Em 1989, o reservatório do Passaúna foi formado a partir do barramento fluvial e submersão das áreas terrestres adjacentes, impactando severamente as atividades agrícolas circunvizinhas. Atualmente é uma importante fonte de abastecimento da RMC, com potencial de fornecimento de 2.000 L s^{-1} , para aproximadamente 22% dos habitantes distribuídos entre os municípios de Almirante Tamandaré, Araucária, Campo Largo, Campo Magro e Curitiba (GONZAGA et al., 2004; PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010; GODOY, 2017).

FIGURA 12 – SUB-BACIA DO RIO PASSAÚNA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA



LEGENDA: As áreas em amarelo-claro correspondem aos locais com ocupação urbana.
 FONTE: PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2002).

De acordo com o artigo oitavo da lei 6.902/1981, de 27 de abril de 1981, uma APA tem a finalidade de “assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais” (BRASIL. Poder Executivo, 1981, p. 2). Nesse sentido, objetivando a conservação – e até a melhoria – de ambientes terrestres influentes sobre o meio aquático, “a Área de Proteção Ambiental (APA) Estadual do Rio Passaúna foi criada em 5 de junho de 1991 (Decreto nº 458/91), constituindo-se na primeira APA sobre um manancial de abastecimento d'água no Paraná” (GONZAGA et al., 2004, p. 66).

Apesar dos 16.000 ha de Área de Proteção Ambiental – APA Passaúna – que se estendem desde a nascente, em Almirante Tamandaré, até a barragem, em Araucária, a sub-bacia do Passaúna possui cerca de 145 Km², ocupados por forte urbanização nos municípios de Curitiba e Campo Largo, e contendo, também, áreas agrícolas e industriais. A rodovia BR 277 também pode influenciar a dinâmica na bacia hidrográfica, devido aos riscos de acidentes com potencial impacto ao meio aquático (e.g. despejo de cargas de produtos químicos líquidos ou sólidos de fácil solubilidade). Além disso, o crescimento populacional desordenado e as ocupações urbanas, muitas vezes irregulares, exercem pressão no sistema, tanto pela demanda por água potável, quanto pelas modificações ambientais promovidas etc. Tais fatores tornam a gestão dos recursos hídricos desafiadora, devido ao potencial aporte de poluentes ao corpo hídrico, inclusive incrementos de matéria orgânica de origem antrópica (ANDREOLI et al., 1999; DIAS, 1997; PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010; 2017). Por isso, o rio Passaúna tem sido monitorado e estudado em diversos aspectos – qualidade da água e dos sedimentos, modelagens e estimativas referentes a qualidade da água, hidrologia, uso e ocupação do solo entre outros – por órgãos ambientais do Estado, instituições de pesquisa e ensino públicas e privadas, do Brasil e da Alemanha, através do programa Novas Parcerias (NOPA), projeto Multidisciplinary Data Acquisition as Key for a Globally Applicable Water Resource Management (Mudak-WRM) (GODOY, 2017).

A qualidade da água no Passaúna evoluiu ao longo dos anos, pois, com base no monitoramento, nas estações Olaria e Barragem, realizado de 1999 a 2013 pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), foi registrada ligeira melhora na qualidade das águas do reservatório do Passaúna, pois durante o período de 1999 a 2004 sua classificação evoluiu da Classe IV - criticamente degradado a poluído, para a Classe III - moderadamente degradado e manteve-se nesta classe até o final do período

analisado (PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2004; 2009; 2017).

3.2 COLETA, CONSERVAÇÃO E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

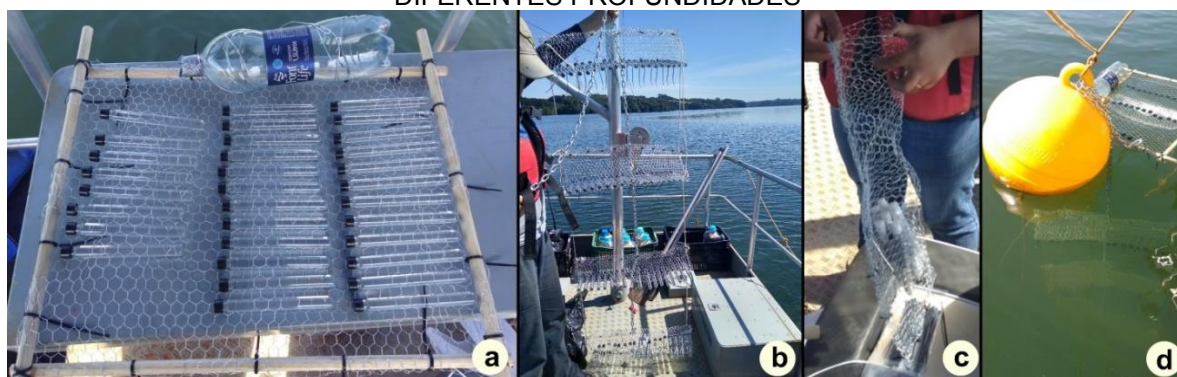
Para o primeiro experimento, *in situ*, foi coletada amostra de água do reservatório, em 01/04/2019, na superfície d'água na área de captação para abastecimento público no reservatório do Passaúna, no mesmo local de instalação do experimento. A amostra foi acondicionada e transportada de acordo com as recomendações da American Public Health Association – APHA (1999) e foi filtrada em membranas de acetato de celulose, lavadas com água pura: primeiro em membrana com porosidade de 0,45 μm , para remoção dos predadores de bactérias, e depois em membrana com porosidade de 0,22 μm , para remoção de bactérias conforme método descrito por Azevedo (2005). Em frascos de vidro borossilicato, previamente descontaminados em banho ácido (HCl 1M, a cerca de 200 °C) e calcinados a 400 °C durante 4 h, foram adicionadas alíquotas de amostra filtrada nas seguintes proporções: 90% do volume alíquota sem bactérias e um inóculo o correspondente a 10% do volume total com amostra filtrada em 0,45 μm . Cada frasco possui o volume útil total de 20 mL. Frascos de vidro podem absorver em média 20% da irradiância UV-A e 50% da UV-B (AMON; BENNER, 1996).

Para o segundo experimento, *in situ*, foi coletada amostra de água do reservatório, em 08/10/2019, no mesmo local do primeiro experimento e foram repetidos os demais procedimentos realizados para a amostra de abril. Adicionalmente, foram preparadas soluções com matéria orgânica em quantidade conhecida. Foram preparadas – em balões volumétricos descontaminados em banho ácido e enxágue com água deionizada – soluções-padrão de ácido húmico – AH com concentração de 40 mgL^{-1} , e um mix de aminoácidos (tirosina – Tyr e triptofano –Trp) com 20 mgL^{-1} de carbono de ambos. Tanto a solução-padrão de AH quanto a de aminoácidos foram diluídas na amostra de água do reservatório (90% filtrada em 0,22 μm + 10% filtrada em 0,45 μm), na proporção de 1:4, ou seja, 250 mL de solução-padrão diluídos em 750 mL de amostra de água do reservatório. Após homogeneização, estas amostras foram acondicionadas em frascos de vidro borossilicato, iguais aos frascos contendo apenas água do reservatório.

3.3 FOTODEGRADAÇÃO POR IRRADIAÇÃO SOLAR

No primeiro campo, os frascos com as amostras foram mantidos no refrigerador sem exposição à luz no dia 01/04/2019 e colocados no reservatório em 02/04/2019, distribuídos proporcionalmente na superfície e a cada 0,5 m ao longo da zona fótica, medida com disco de Secchi (tanto na data de amostragem e na data de início da incubação), até os 2,0 m e, também, na ausência de luz (frascos envolvidos folhas alumínio para fotoproteção, simulando o fundo – zona afótica), fixadas na estrutura retratada na FIGURA 13. Metade das amostras foi retirada com 27,95 horas (27 h 57 min.) de exposição à radiação solar – após cerca de dois dias de permanência no reservatório – e a outra metade após 94,70 horas (94 h 42 min.) de irradiação – após cerca de sete dias de permanência no reservatório.

FIGURA 13 – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA FOTODEGRADAÇÃO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES



LEGENDA: conjuntos de fotodegradação a) à superfície; b) a cada 0,5 m; c) controle d) no reservatório
 FONTE: A autora (2019).

No segundo campo, os frascos com as amostras foram filtrados e colocados no reservatório em 08/10/2019, distribuídos proporcionalmente na superfície e a cada 0,5 m até os 2,0 m e na ausência de luz (frascos envolvidos com fotoproteção, simulando o fundo – zona afótica), fixadas na mesma estrutura utilizada no primeiro experimento em. Metade das amostras foi retirada com 24,62 horas (≈24 h 37 min.) de exposição à radiação solar – após cerca de dois dias de permanência no reservatório – e a outra metade após 93,27 horas (≈93 h 16 min.) de irradiação – após cerca de sete dias de permanência no reservatório.

O QUADRO 4 apresenta um comparativo entre o presente estudo e uma ampla gama de precursores referentes a fotodegradação de compostos orgânicos sob diversas circunstâncias, evidenciando os padrões existentes e a variações metodológicas.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continua)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	$\cong 02$ e $\cong 07$ dias (incubação) 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I) 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Alemanha (clima Cfb)	Natural	N/A (amostra exposta à luz do dia no laboratório através da janela)	06 semanas (irradiação sob agitação rotativa de 60 rpm)	Frascos de borossilicato com tampas de rosca com gaxetas de Teflon e vidro da janela do laboratório, que filtram parte da radiação solar)	Soluções estéreis da fração macromolecular da MOD em cinco vezes a concentração natural	N/I	Incubado no escuro, sob agitação rotativa de 60 rpm, simultaneamente a irradiação da respectiva amostra irradiada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análise da interferência da fotodegradação na biodegradação; ▪ COD; ▪ cromatografia de permeação em gel Sephadex G-15.
Fluvial	Alemanha (clima Dfb)	Natural	Exposição direta (irradiação em telhado)	6 dias (incubação)	Frascos de quartzo de fundo redondo	Água doce de riacho coletada à superfície	N/I	N/I	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ espectroscopia de fluorescência e absorbância UV-Vis; ▪ espectrometria de massa de resolução ultra alta; ▪ índices para caracterização da matéria orgânica com base na absorbância, fluorescência e COD.

FONTE: Adaptado de GELLER (1986); WILSKE (2020); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	$\cong 02$ e $\cong 07$ dias (incubação) 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I) 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Áustria (clima Cfb)	Natural	0,03	4 a 8 h (período de irradiação centrado no meio-dia solar)	Garrafas de quartzo	Água (COD total) COD húmico extraído COD não-húmico extraído	120	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absorbância (365 e 250 nm); ▪ COD; ▪ microscopia de epifluorescência; (contagem de células bacterianas); ▪ pH.
Marinho costeiro	Belize (clima Am)		0,25	3 a 6 h (irradiação das 10 h às 16 h)	Frascos de poliestireno	Água do mar (coletada entre 0 e 0,5 m)	85	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral a cada período de irradiação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abundância e biovolume bacteriano; ▪ microscopia de epifluorescência ▪ produção bacteriana de proteínas e componentes de DNA; ▪ tempo de renovação da biomassa bacteriana.

FONTE: Adaptado de REITNER, HERNDL e HERZIG (1997); CHRÓST e FAUST (1999); A autora (2020).

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	$\cong 02$ e $\cong 07$ dias (incubação) 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I) 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Delta pantanoso*	Botsuana* (clima BSh)	N/I				Água coletada a 0,2 m de profundidade	N/I		<ul style="list-style-type: none"> COD; condutividade; espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); HPLC (Size exclusion chromatography - SEC; matriz de fotodiodos/detector PDA Plus); OD; pH; temperatura da água.
Fluvial e Lacustre	Brasil-AM (clima Am)	Natural	Poucos centímetros (próximos à superfície, em uma piscina plástica)	6 h (irradiação das 09 h às 15 h)	Tubos de quartzo	Água doce (rio e lago marginal ao rio negro)	100	Mantido junto a cada tipo de amostra e a cada conjunto respectivo a cada período de irradiação	<ul style="list-style-type: none"> COD e CID; cor; densidade e biomassa bacteriana (avaliação da biodegradação).
Fluvial			0,02	4 a 27 h (irradiação) 75h (incubação)	Frascos de borossilicato	Substâncias húmicas marinhas adicionadas a água salgada artificial	60	Mantido durante todo o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> COD; número de células bacterianas; produção de leucina; respiração bacteriana.

FONTE: Adaptado de CAWLEY et al. (2012); AMARAL (2010); AMON e BENNER (1996); A autora (2020).

LEGENDA: N/I - não informado; (*) fotodegradação é abordada, mas não há descrição de respectivo experimento.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> • COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); • análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Brasil-MG (clima Aw)	Natural	Subsuperfície	15 dias (incubação)	frascos de quartzo	Água do hipolímnio; MOD autóctone (extraída de cultura de cianobactéria da lagoa); MOD alóctone (extraída de folhas e restos orgânicos da serapilheira adjacente a lagoa)	100 ±5	Mantido junto a cada tipo de amostra durante a respectiva incubação	<ul style="list-style-type: none"> • CID; • COD; • espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE).
Lacustre	Brasil-MG (clima Aw)	Artificial (3,2 μ Watts/cm ² /nm)	N/A	392 h com amostragem a cada 98 h (irradiação)	tubos de quartzo	Água do hipolímnio	N/I	Incubado no escuro simultaneamente a irradiação	<ul style="list-style-type: none"> • CID; • COD; • espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE).
Lacustre (solo adjacente, água e sedimentos)	Brasil-MS (clima Cfa)	Natural (luz solar direta) e artificial (luz UV com principal emissão em 254 nm)		28 h (irradiação natural) 96 h (irradiação artificial)	Tubos de borossilicato	SH extraídas da água, dos sedimentos e do solo adjacente à lagoa	15	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> • COD; • Espectroscopia de fluorescência (MEE, espectros síncronos) e absorbância UV-Vis.

FONTE: Adaptado de TADEU (2019); AZEVEDO (2005); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Brasil-MS (clima Cfa)	Natural (luz direta e através da coluna d'água) e; artificial (luz UV com principal emissão em 254 nm)	0; 0,2; 0,6; 1,7 e 2,0.	29 h (irradiação natural direta) 33h 78 h (incubação para irradiação natural direta) 96 h (irradiação artificial)	Tubos de borossilicato	Água da lagoa (90% filtrada a 0,45 µm e 10% a 0,2 µm) enriquecida com nutrientes (N e P)	15 (luz solar direta e artificial) Volume dos tubos completo (luz solar através da coluna d'água)	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ Espectroscopia de fluorescência (MEE, espectros síncronos) e absorbância UV-Vis.
Lacustre e afloramento de lençol freático	Brasil-RJ (clima Aw)	Natural	N/I (submerso em uma piscina plástica)	6 h (irradiação das 9 h às 17 h)	Tubos de quartzo	Água coletada a 0,2 m de profundidade	93,13251	Mantido junto a cada tipo de amostra e a cada conjunto respectivo a cada período de irradiação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e CID; ▪ OD; ▪ consumo de OD e conversão para produção de CO₂; ▪ espectroscopia de absorbância UV-Vis.
Marinho	Croácia (clima Cfa) Holanda (clima Cfb)		Superfície	5 a 8 h (irradiação)	Tubos de quartzo com ambas as extremidades seladas com folha de Teflon	COD húmico e não húmico extraídos de água coletada a 0,5 e a 10,0 m	1000	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fracionamento do COD em húmico e não-húmico; ▪ COD; DBO e OD; ▪ espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina) e UV-Vis; ▪ microscopia de epifluorescência; (contagem de células bacterianas).

FONTE: Adaptado de AZEVEDO (2005); AMADO (2008); OBERNOSTERER e HERNDL (2000); A autora (2020).

LEGENDA: N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≅02 e ≅07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + tirosina e triptofano.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Marinho	Curaçao (clima BSh) Estreito de Gibraltar e Mar Egeu (clima Csa)	Natural	1,0 e 85,0	6h (irradiação)	Tubos de quartzo com ambas as extremidades seladas com folha de Teflon	Coletada na superfície e na região mesopelágica sem e com adição de BSA	250	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	▪ COD e clorofila-α; ▪ espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina); ▪ microscopia de epifluorescência; (contagem de células bacterianas); ▪ produção de DNA bacteriano.
Marinho	EUA (clima Cfa)		Superfície	5 a 9 h (irradiação)	Garrafas de quartzo	Água do mar (coletada em 08 profundidades, de 15 a 1.000 m)	90	Mantido durante todo o período de irradiação	▪ Produção bacteriana de proteína (H-leucina); ▪ COD.
Estuarino			N/I	7 h (irradiação das 09 h às 16 h)	Frascos de quartzo	Substâncias húmicas marinhas adicionadas a água salgada artificialmente	2000	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral a cada período de irradiação	▪ COD e NOD; ▪ consumo e/ou degradação dos fotoprodutos por inóculo bacterioplânctônico obtido na amostra bruta; ▪ contagem de bacterioplâncton; ▪ espectrofotometria de fluorescência (excitação:342 nm; emissão: 452 nm).

FONTE: Adaptado de OBERNOSTERER, REITNER e HERNDL (1999); BENNER e BIDDANDA (1998); BUSHAW-NEWTON e MORAN (1999); A autora (2020).

LEGENDA: N/I - não informado; BSA - albumina de soro bovino.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	Água do reservatório (MON); MON + AH; MON + tirosina e triptofano.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Pântano salgado de <i>Spartina alterniflora</i>	EUA (clima Cfa)	Artificial (simulador solar Suntest CPS 1000 W - DSET Laboratories)	N/A	4 h (equivalente a 8 h de irradiação natural do meio-dia)	<p>Câmara de vidro com termostato (20 °C) com uma janela óptica de quartzo; e</p> <p>Tubos herméticos de quartzo</p>	<p>Água salgada natural enriquecida com substâncias húmicas ou com adição de água deionizada</p> <p>Água salgada artificial enriquecida com substâncias húmicas ou com adição de água deionizada</p>	1200 e 25	<p>Alíquota não irradiada sob refrigeração a 4°C;</p> <p>tubos envolvidos em papel alumínio, cobertos com pano preto, mantidos no simulador solar durante todo o período de irradiação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produção bacteriana de proteína
Marinho costeiro		Natural e artificial	N/I	<p>4 ou 8h (irradiação natural);</p> <p>vários minutos (luz UV ≈254 nm)</p>	Frascos de quartzo	Água do mar (coletada a 30 cm de profundidade, a 300 m à montante da embarcação de pesquisa)	N/I	Amostra da "hora-zero", ou seja, não incubada ou irradiada.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CID; ▪ COD; ▪ espectroscopia UV-Vis; ▪ HPLC; ▪ monóxido de carbono.

FONTE: Adaptado de MILLER e MORAN (1997); MOPPER e STAHOVEC (1986); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	Água do reservatório (MON); MON + AH; MON + tirosina e triptofano.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Fluvial/estuarino	EUA (clima Cfa)	Natural	N/I	7 h (irradiação das 09 h às 16 h)	Frasco de quartzo	Água de rios (tributários de estuarinos)	1000	Frascos de vidro borossilicato envolvidos em papel alumínio incubados juntos aos de quartzo.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ respiração bacteriana.
Fluvial/estuarino		Artificial (9,2 W.m ⁻²)	N/A	6 dias (16% fotobranqueamento) a 7 dias (64% fotobranqueamento)	Frascos de quartzo	Água de rios (tributários de estuarinos)	2000	amostra mantida a 48°C, no escuro durante a irradiação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ medição de propriedades ópticas; ▪ respiração bacteriana.
Estuarino		Natural	0,01	35 h (incubação) 24 h (irradiação)	Garrafas de quartzo	Água salobra	90	Garrafas de quartzo escuro, incubadas junto às garrafas transparentes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Efeito das transformações fotoquímicas de matéria orgânica dissolvida (DOM) na produção bacteriana; ▪ efeito líquido da exposição à luz solar no bacterioplâncton e produção de fitoplâncton; ▪ microscopia de epifluorescência de DAPI-corado; ▪ COD e CID; ▪ espectrofotometria absorvância (280 a 400 nm); ▪ produção bacteriana de proteínas.

FONTE: Adaptado de MORAN, SHELDON-JR e SHELDON (1999); MORAN, SHELDON e ZEPP (2000); ZIEGLER e BENNER (2000); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Pântano ácido de água doce	EUA (clima Dfb)	Artificial (DSET Heraeus solar simulator) e Natural	Artificial: N/A; Natural: N/I.	7 h (irradiação artificial) 6 h (irradiação natural das 10h às 16h)	Frascos de quartzo	MOD natural SH isolados da MOD Compostos não húmicos isolados da MOD	2000	N/A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biomassa bacteriana (contagem direta) antes e após irradiação para avaliar a influência dos produtos da fotodegradação sobre as bactérias autóctones;
Lacustre	EUA (clima Dfb)	Natural	N/I	32 a 192 h (incubação)	Garrafas e Tubos de vidro borossilicato	Água sem e com adição de nutrientes (fósforo e nitrogênio)	N/I	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abundância e produção bacteriana; ▪ absorvância; ▪ COD; ▪ cor; ▪ fósforo; ▪ nitrogênio.
Marinho	EUA (climas Am e Aw)			24 h (incubação)	Frascos de quartzo	Água do mar com diferentes teores naturais de substâncias húmicas	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HPLC e UV-Vis acoplado ao HPLC
Lençol freático ou aquífero subterrâneo	Nova Zelândia (clima Cfb)		N/A	2 h (período de irradiação centrado no meio-dia solar)	Tanques rasos	Águas subterrâneas	1000	Origem da água (subterrânea) protegida da luz solar natural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aminoácidos dissolvidos e fósforo reativo totais; ▪ nitrogênio amoniacal e nitrato; ▪ espectroscopia de fluorescência e UV-Vis; ▪ produção e respiração bacteriana.

FONTE: Adaptado de BANO et al. (1998); RECHE, PACE e COLE (1998); KIEBER e MOPPER (1987); FINDLAY et al. (2001); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES	
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≅02 e ≅07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).	
Água salgada (aquicultura)	Portugal (clima Csb)	Artificial [Solarbox 1500 Co.fo.me.gra®, 55 W.m ⁻² (290 a 400 nm), correspondendo a 550 W.m ⁻² em todas as faixas espectrais]	N/A	Tempos correspondentes a redução de 50% da concentração inicial; e a redução >93% da concentração inicial.	Tubos de quartzo	Água de aquicultura sem e com oxitetraciclina (40 mg/L); e Solução-padrão de oxitetraciclina (40 mg/L).	N/I	Mantido junto a cada tipo de amostra e a cada conjunto respectivo a cada período de irradiação	▪ HPLC	
Experimento de bancada				20; 40; 60; 90 e 120 min. 30; 60; 90; 120;150 min.		Solução-padrão de oxitetraciclina sem e com adição de SH; e Solução aquosa BDE-209 sem e com adição de SH			▪ HPLC-UV (coluna New ACE C18-PFP); ▪ Espectroscopia (UV-Vis).	
Água salgada (aquicultura)				2 a 20 min.		Água de aquicultura filtrada e não filtrada com oxitetraciclina (4 mg/L)	15	Mantido até o tempo máximo de irradiação	▪ COD; ▪ Espectroscopia (UV-Vis); ▪ HPLC; ▪ pH, salinidade e sólidos suspensos totais.	
Água salobra (aquicultura)						Água de aquicultura; e Solução-padrão de oxitetraciclina (4 mg/L)			▪ COD e Espectroscopia (UV-Vis e fluorescência); ▪ HPLC; ▪ Cálcio e magnésio; e pH.	

FONTE: Adaptado de Leal et al. (2017); Leal, Esteves e Santos (2015, 2016 e 2019); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Suécia (clima Cfb)	Natural	Superfície	7h (período de irradiação centrado no meio-dia solar)	Tubos de quartzo	Água doce (coletada a 1 e 7 m)	190	Mantido junto durante o período de irradiação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concentrações de glicose, frutose e carboidratos dissolvido totais (via HPLC e detecção amperométrica pulsada); ▪ DFAA e DCAA; ▪ microscopia de epifluorescência; ▪ nitrogênio dissolvido total (TDN); ▪ produção bacteriana de proteína.
			Superfície até a profundidade medida com o disco de Secchi	Do nascer ao pôr-do-sol	Tubos de quartzo (transparente) e tubos de borossilicato (controle escuro)	Água coletada na profundidade de 2 m de cinco diferentes lagos suecos		Mantido junto ao conjunto amostral de cada profundidade durante todo o período de irradiação.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biomassa bacteriana; ▪ COD; ▪ cor; ▪ pH; ▪ produção bacteriana de proteína.
		Artificial	N/A	0; 0,5; 1 ;2; 4; 8; 16; 32; e 64 ou 100 h (irradiação)	Frascos de borossilicato	Água coletada na superfície	40	N/I	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biomassa bacteriana; ▪ COD; ▪ condutividade; ▪ cor; ▪ crescimento bacteriano; ▪ nitrogênio e fósforo; ▪ oxigênio; ▪ pH.

FONTE: Adaptado de JØRGENSEN et al. (1998); LINDELL et al. (1995; 1996); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(continuação)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Lacustre	Suécia (clima Cfb)	Artificial (simulador solar)	N/A	12 h (irradiação)	Sacos de polipropileno	Água coletada entre 0,0 e 0,5 m, de 30 (trinta) lagos	400	Incubado no escuro simultaneamente a irradiação da respectiva amostra irradiada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ espectroscopia UV-Vis; ▪ produção fotoquímica de carbono do ácido carboxílico (diferença entre as amostras irradiadas e os controles escuros ao final da exposição a radiação; ▪ análise fluorimétrica da clorofila-α.
	Suécia (climas Cfb, Dfb e Dfc)			12 h (irradiação sob agitação rotativa de 60 rpm)	Tubos de quartzo	A Água coletada entre 0,0 e 0,5 m, de 38 (trinta e oito) lagos	70	Incubado no escuro, sob agitação rotativa de 60 rpm, simultaneamente a irradiação da respectiva amostra irradiada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CID e COD; ▪ espectroscopia de fluorescência (em QSU - unidades de sulfato de quinina) e UV-Vis; ▪ ácidos carboxílicos: oxálico, malônico, fórmico e acético (separação por eletroforese); ▪ alcalinidade e pH; ▪ condutividade; ▪ ferro total.
Fluvial e subterrânea	Suécia (climas Dfb)	Artificial		12 h	Sacos de polipropileno	Água de rio, de riachos e subterrânea.	2000	Mantido junto ao conjunto amostral respectivo a cada período de irradiação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD, NOD e NID; ▪ Condutividade; e pH ▪ espectroscopia (absorbância e fluorescência); ▪ n° de células bacterianas.

FONTE: Adaptado de Tranvik e Bertilsson (2001); Bertilsson e Tranvik (2000); A autora (2020).

LEGENDA: N/A - não se aplica.

QUADRO 4 – COMPARAÇÃO COM ASPECTOS DE OUTROS ESTUDOS SOBRE FOTODEGRADAÇÃO

(conclusão)

AMBIENTE AQUÁTICO	LOCAL E CLIMA	FONTE LUMINOSA	PROFUNDIDADE DE INCUBAÇÃO (m)	DURAÇÃO	RECIPIENTE	AMOSTRA	VOLUME (mL)	CONTROLE FOTOPROTEGIDO	ANÁLISES
Reservatório do Passaúna	Brasil-PR (clima Cfb)	Natural	0,05; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,10.	≈02 e ≈07 dias (incubação); 27,95 e 94,70 h (irradiação no campo I); 24,62 e 93,27 h (irradiação no campo II)	Tubos de borossilicato	MON; MON + AH; MON + Tyr e Trp.	20	Mantido junto ao respectivo conjunto amostral durante o período de incubação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD e espectroscopia de fluorescência e UV-Vis (MEE); ▪ análises para caracterização ambiental (fósforo e nitrogênio total, OD, temperatura, transparência, turbidez e pH).
Experimento de bancada	Turquia (clima Csa)	Artificial (lâmpada WBLF125, com taxa de geração de fótons de $2,85 \cdot 10^{16}$ quanta.s ⁻¹)	N/A	N/I	Frasco cilíndrico de borossilicato	Solução de sal de sódio de AH (50 mg/L) + dióxido de titânio (0,50 mg/L) + montmorilinita (de 0,05 a 0,20 mg/L)	50	N/A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ COD; ▪ espectroscopia UV-Vis: porções formadoras de cor (Color436) e centros de absorção de 365 e 254 nm.
N/A									<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisão sobre espectroscopia de fluorescência em estudos de fotodegradação da MOD.
N/A		Natural e artificial	N/A						<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisão sobre as ligações mediadas fotoquimicamente entre a MOD e o bacterioplâncton, mencionando diversos estudos de fotodegradação da matéria orgânica.
Diversos	Escala global e ambientes tropicais		N/A						<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisão sobre fotodegradação do COD: principais motivações para o estudo; principais implicações ecológicas; fotobranqueamento e regulação da luz na água; métodos aplicados; fatores reguladores etc.

FONTE: Adaptado de BERTILSSON et al. (1999); SEM-KAVURMACI e BEKBOLET (2013); HUDSON, BAKER e REYNOLDS (2007); MORAN e CONVERT (2002); SUHETT et al. (2006); A autora (2020).

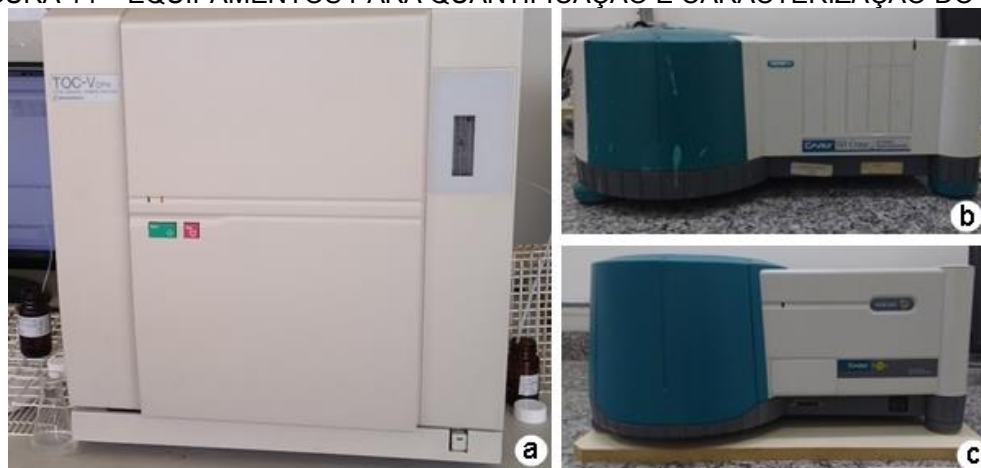
LEGENDA: N/A - não se aplica; N/I - não informado.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS

Para indicar a MOD presente na água (amostra sem incubação e amostras incubadas no reservatório), empregou-se a quantificação de carbono orgânico total dissolvido (COD), a partir de 50 mL de amostra submetida ao analisador de carbono orgânico total TOC-V_{CPH} Shimadzu® (FIGURA 14a). Além disso, foram quantificadas as concentrações de nitrogênio e fósforo total da amostra bruta coletada em 01/04/2019 de acordo com as recomendações da APHA (1999).

Para verificar as características da MOD e avaliar a fotodegradação, as amostras foram submetidas a análises de varredura no espectrofotômetro ultravioleta-visível (UV-Vis) Varian Cary 50Conc® (FIGURA 14b), e espectrofluorímetro Cary Eclipse® (FIGURA 14c), cujos resultados combinados à concentração de COD e da absorbância na faixa do ultravioleta-visível subsidiaram a elaboração de matrizes excitação-emissão (MEE) a partir da normalização de acordo com McKnight et al. (2001), realizadas no programa Spyder (Python 3.7) por meio do programa Fluorescence Excitation-Emission Matrix Code – FEEMC 2.0 (KOZAK et al., 2019).

FIGURA 14 – EQUIPAMENTOS PARA QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COD



LEGENDA: a) analisador de COT; b) espectrofotômetro uv-vis e; c) espectrofluorímetro
FONTE: a) A autora (2019); b) e c) UTFPR (2020).

Para caracterização ambiental, foram obtidos dados de parâmetros relacionados a qualidade da água a partir das seguintes fontes:

- a) sensor submerso (ANEXO 2), situado na região da captação do reservatório do Passaúna/PR – dados referentes à 02/04/2019 (MUDAK-WRM, 2019);

b) medições durante procedimentos de instalação do experimento e término da primeira etapa de incubação das amostras para irradiação natural (momento de retirada da primeira parcela de amostras), a partir de sonda multiparamétrica CastAway-CTD SonTek® (FIGURA 15) – dados referentes à 08/10/2019 e 10/10/2019;

c) base de dados do projeto Mudak-WRM;

Outros dados de parâmetros de qualidade da água – pH e turbidez – foram disponibilizados pela SANEPAR (2019a; 2019b) decorrentes do monitoramento obrigatório da água destinada ao abastecimento público

FIGURA 15 – SONDA MULTIPARAMÉTRICA CASTAWAY-CTD SONTEK®



FONTE: A autora (2020).

3.5 ANÁLISES DE DADOS

3.5.1 Dados meteorológicos e de geoespaciais

Os dados meteorológicos de radiação solar, referentes aos períodos experimentais de abril e outubro, foram obtidos a partir dos dados meteorológicos disponíveis no portal do Instituto Nacional De Meteorologia – INMET (2019a), a partir da estação meteorológica de observação de superfície automática CURITIBA A807 (FIGURA 16), localizada sob as coordenadas geográficas $-25,448688^\circ$ e $-49,230602^\circ$ e com distância geodésica de 15.811,401 m do local de realização do experimento – região da captação do reservatório do Passaúna (lat. $-25,511571^\circ$; long. $-49,3716873^\circ$).

Os dados de radiação da estação um pouco mais distante foram empregados no presente estudo, devido a indisponibilidade de acesso aos dados referentes ao

intervalo temporal de julho até novembro de 2019. Detalhamentos sobre as localizações e distâncias calculadas podem ser visualizados nos ANEXOS 3 a 7. da estação solarimétrica Curitiba CTB-60 (SONDA, 2020), localizada sob as coordenadas geográficas -25,495408 e -49,331202° e com distância geodésica de 4444,958 m do local de realização do experimento. Prezando a representatividade dos dados, foram comparados os dados de radiação solar de ambas as estações disponíveis para o período de abril, a fim de se confirmar a similaridade entre os valores de radiação registrados pelas referidas estações meteorológicas.

FIGURA 16 – ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA CURITIBA A807



FONTE: INMET (2019b)

Os dados de radiação registrados pela estação meteorológica de observação de superfície automática CURITIBA A807 foram disponibilizados no formato de total para cada hora UTC – Coordinated Universal Time. Para favorecer a compreensão dos dados foi realizada a conversão para o horário de Brasília (*i.e.*: UTC -3).

Para estimar a quantidade de radiação nos períodos correspondentes a frações do intervalo de 01 hora, para os quais a irradiação é conhecida, foi empregada a equação 1:

$$R_{FH} = R_{HC} * t/60 \quad (1)$$

onde:

RFH = radiação na fração de hora

RHC = radiação na hora completa (*i.e.*: no intervalo de 1 h)

t = tempo de irradiação (min.)

3.5.2 Atenuação vertical da radiação na coluna d'água

Dos fatores que influenciam a disponibilidade de radiação subaquática, a transparência é o mais importante para “determinar a quantidade de energia que penetra na água” (ESTEVES, 1998, p. 154). Para estimar a quantidade de radiação recebida pelas amostras, incubadas em diferentes profundidades da coluna d'água, foi adotada a equação 2 (HOWARD-WILLIAMS; VINCENT, 1984; ESTEVES, 1998), que aplica o coeficiente de atenuação vertical (k) da radiação subaquática obtido a partir das medições de transparência, realizadas com disco de Secchi.

$$k = \frac{(\ln I_0 - \ln I)}{Z} \Rightarrow I = I_0 - e^{(Zk)} \quad (2)$$

onde:

k = coeficiente de atenuação vertical

ln = logaritmo neperiano ou natural

I₀ = radiação na superfície

I = radiação numa dada profundidade

Z = profundidade (ponto da coluna d'água), em metros

Para calcular os valores de k, foi adotada a aproximação universal proposta por Poole e Atkins (1929) (equação 3) – para estimar a quantidade de radiação subaquática em águas naturais – e foram comparados aos valores k para ambientes lacustres, citados por Esteves (1998) (TABELA 6) a partir de estudos relatados por Howard-Williams e Vincent (1984) e Esteves (1998), entre outros.

$$k = \frac{1,7}{Z_{DS}} \quad (3)$$

onde:

k = coeficiente de atenuação vertical

Z_{DS} = profundidade de transparência medida com disco de Secchi

TABELA 6 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) DA ÁGUA

CARACTERÍSTICA AMBIENTAL	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) MÉDIO	INTERVALO DE VALORES DE k
Águas turbidas	6,7	0,34 - 35,30
Águas ricas em SH	2,51	0,81 - 4,51
Estrófico	1,86	0,97 - 3,20
Mesotrófico	0,53	0,28 - 0,90
Oligotrófico	0,19	0,10 - 0,28

FONTE: Adaptado de: HOWARD-WILLIAMS; VINCENT 1984; ESTEVES, 1998.

3.5.3 Variação de COD

As variações das concentrações de COD os picos de intensidade de fluorescência ($\Delta COD\%$), para ambos os períodos de incubação (i.e.: t_0 a t_2 , t_0 a t_7 e t_2 a t_7), foram calculadas conforme a equação 4:

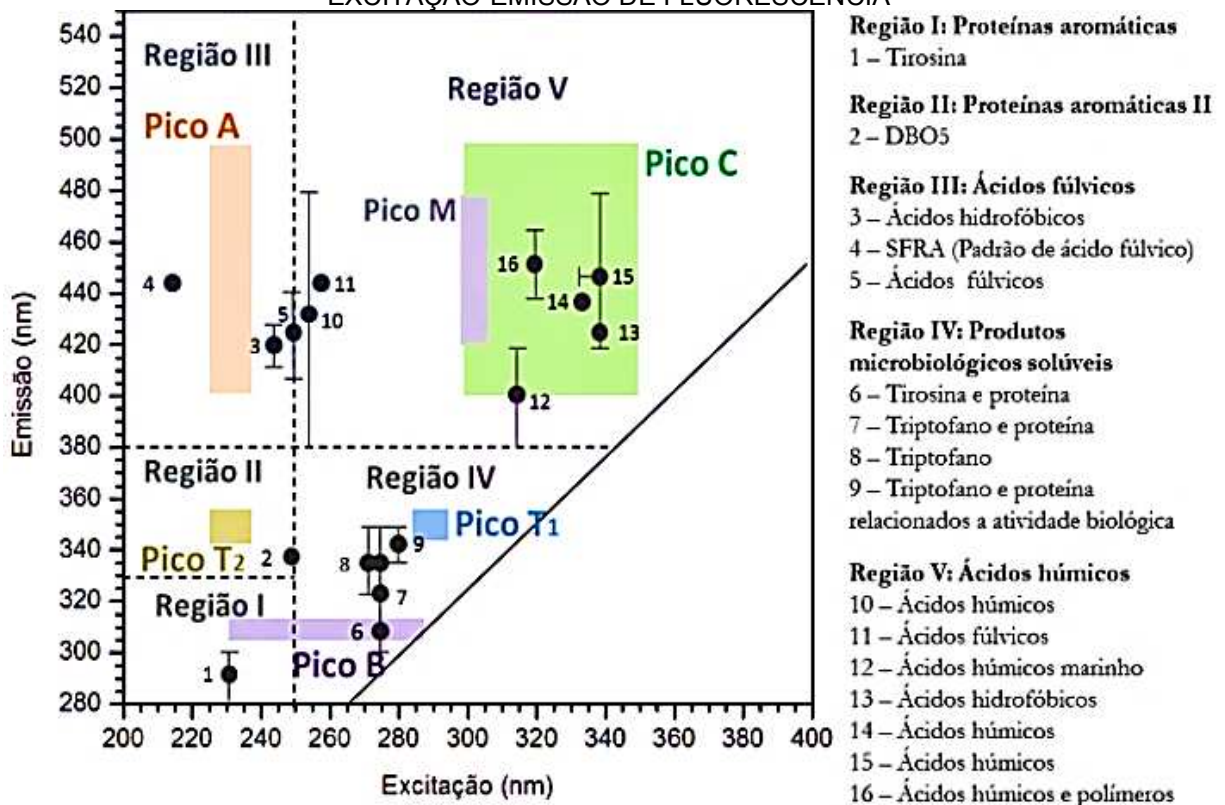
$$\Delta COD\% = \left[\frac{(COD_{final} - COD_{inicial})}{COD_{inicial}} \right] * 100 \quad (4)$$

3.5.4 Intensidades de fluorescência (IF)

Com base nos picos de intensidade de fluorescência (IF) obtidos é possível inferir qual a substância presente na amostra analisada, ou afirmar que se trata de substância semelhante (FIGURA 16; QUADRO 5). As variações dos picos de intensidade de fluorescência ($\Delta IF\%$), para ambos os períodos de incubação, foram calculadas conforme a equação 5:

$$\Delta IF\% = \left[\frac{(IF_{final} - IF_{inicial})}{IF_{inicial}} \right] * 100 \quad (5)$$

FIGURA 17 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA IDENTIFICAÇÃO DE PICOS E REGIÕES DE EXCITAÇÃO-EMIÇÃO DE FLUORESCÊNCIA



FONTE: KNAPIK, FERNANDES e AZEVEDO (2014).

QUADRO 5 – INTERPRETAÇÃO DOS PICOS DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (IF)

PICO	EXCITAÇÃO (λ = nm)	EMIÇÃO (λ = nm)	CARACTERÍSTICA PREDOMINANTE	COMPOSTO ASSOCIADO
A	225 – 235	400-500	Refratária	Ácido húmico (AH)
B	230 – 275	305 – 315	Lábil	Tirosina (Tyr)
C	300 – 350	400 – 500	Refratária	Ácido fúlvico (AF)
T1	285 – 295	345 – 355	Lábil	Tryptofano (Trp)
T2	225 – 235			

FONTE: Adaptado de COBLE (1996); HUDSON, BAKER e REYNOLDS (2007); LEITHOLD (2017).

3.5.5 Análises estatísticas

Utilizando os suplementos do MS-Excel® de ferramentas para análise de dados, foi verificada a hipótese de diferença significativa para o COD – em função das do tempo e da condição de incubação (profundidade na coluna d'água e presença ou ausência de fotoproteção) – e para as IF – em função das condições de incubação e picos de intensidade de fluorescência. Para tanto, foi realizada a análise de variância (ANOVA) de fator duplo sem repetição e, após constatada diferença significativa, foi realizado o teste Tukey, com $\alpha=0,05$. A estatística descritiva também foi empregada para processar e interpretar os dados.

3.6 DEFINIÇÕES

Para efeito do presente estudo, são adotadas as seguintes definições na transcrição e discussão dos resultados:

- solução-padrão/soluções-padrão: soluções com concentração definida/conhecida, elaboradas fazendo uso de insumos com precisão conhecida e validada;
- amostra: água do reservatório ou água do reservatório com o teor de matéria orgânica enriquecida a partir da adição de soluções-padrão;
- conjunto amostral: conjunto de frascos contendo amostras, mantidos sob mesmas condições de incubação;
- incubação: ato ou efeito do acondicionamento de conjunto amostral submerso no corpo hídrico;
- condição de incubação: posição na coluna d'água (profundidade) e/ou situação em relação a exposição radiação luminosa. Neste sentido o termo “escuro” associado às amostras/ao conjunto amostral indica a incubação em frascos envoltos em material fotoprottegido;

- f) “hora-zero”: momento em que os conjuntos amostrais são submersos no corpo hídrico e é iniciada a incubação dos conjuntos amostrais no corpo hídrico;
- g) campo I: período experimental ocorrido em abril de 2019;
- h) campo II: período experimental ocorrido em outubro de 2019.
- i) 1ª retirada: término de aproximadamente metade de cada conjunto amostral, após cerca de 02 (dois) dias após a hora-zero;
- j) 2ª retirada: término da incubação das amostras remanescentes da 1ª retirada, após cerca de 07 (sete) dias após a hora-zero;
- k) t_0 : tempo correspondente à “hora-zero”;
- l) t_2 : tempo de aproximadamente 02 (dois) dias, marcado pela 1ª retirada;
- m) t_7 : tempo de aproximadamente 07 (sete) dias, marcado pela 2ª retirada.

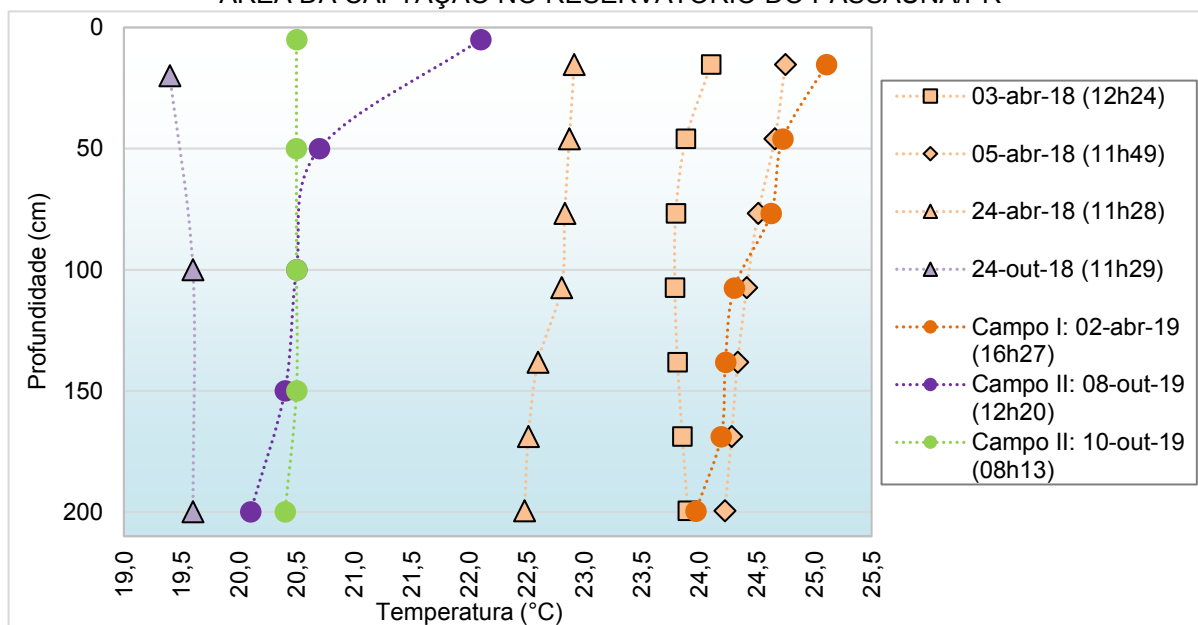
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

4.1.1 Temperatura da água

O perfil de temperatura instantânea da água (FIGURA 18) no campo I, exibiu valores maiores em comparação ao campo II, em função das características climáticas pertinentes à época do ano em que ocorreram, apresentando em abril de 2019 um valor próximo a medição realizada na superfície um ano e três meses antes (24,1 °C) (MUDAK-WRM, 2019); e obtendo, na data de amostragem e início da incubação, temperatura 2,21 % menor do que a os 22,6 °C relatados por Dias (1997) para medição realizada em outubro de 1993. A temperatura também foi similar aos perfis aferidos durante o monitoramento realizado pelo IAP para os anos de 2005 e 2006 (PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2017).

FIGURA 18 – PERFIS DE TEMPERATURA INSTANTÂNEA AO LONGO DA COLUNA D'ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR



FONTE: Adaptado de MUDAK-WRM (2019); A autora (2020).

A temperatura de 22, 1 °C na superfície ($\cong 0,05$ m) foi aproximadamente 8,20 % maior do que a média de 20,4 °C ($\pm 0,25$ °C) nas demais profundidades (0,50 a 2,00 m) – essa variação de 1,7 °C já configura uma estratificação térmica e, conseqüentemente, uma estratificação química devido a influência da temperatura na

dinâmica do ambiente aquático. Também, corrobora a caracterização dos perfis térmicos na região da captação pela formação de termoclina a partir de agosto, adquirindo maior expressividade no verão, registrada por Dias (1997). Segundo a autora, apenas durante o inverno é recorrente a circulação na coluna d'água – processo que Esteves (1998) descreve como frequente em lagos profundos.

Mostofa et al. (2013b) destacam que menores temperaturas da água reduzem a cinética de reação da MOD. Sendo assim, faixa de temperaturas registrada no campo I tende a ser mais favorável à mineralização da matéria orgânica, comparada à referente ao campo II.

Apesar da indisponibilidade de dados temperatura instantânea para mesma hora do dia, é possível considerar aceitar certo grau da representatividade das temperaturas disponíveis, visto a o comportamento da temperatura instantânea no mês de abril, onde se tem duas medições em dias próximos e horários diferentes

e, principalmente, a partir do conceito de calor específico da água, que segundo Esteves (1998) “é por definição a quantidade de energia necessária para elevar em 1°C a temperatura de 1 kg de água [...] corresponde a 1 kcal”, conferindo grande estabilidade térmica aos ambientes aquáticos.

Em relação a outros reservatórios localizados em regiões de clima temperado ou subtropical húmicos (Cfb e Cfa), e a estudos precursores no reservatório do Passaúna (TABELA 7), as variações de temperatura da água na superfície foram baixas, conforme esperado em função das relações com a temperatura do ar e a radiação solar.

TABELA 7 – TEMPERATURA DA ÁGUA NA SUPERFÍCIE DE RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)

RESERVATÓRIO	CLIMA (KÖPPEN)	TEMPERATURA (°C)	MÊS/ANO	REFERÊNCIA
Foz do Areia		19,3	out/13	Adloff et al. (2019)
		21,17	out/16	Godoy (2017)
Passaúna	Cfb	21,0	abr/08	Busch (2009)
		18,0	out/08	
Segredo		20,8		
Salto Santiago	Cfa/Cfb	20,0	out/13	Adloff et al. (2019)
Salto Caxias	Cfa	21,6		

FONTE: A autora (2020).

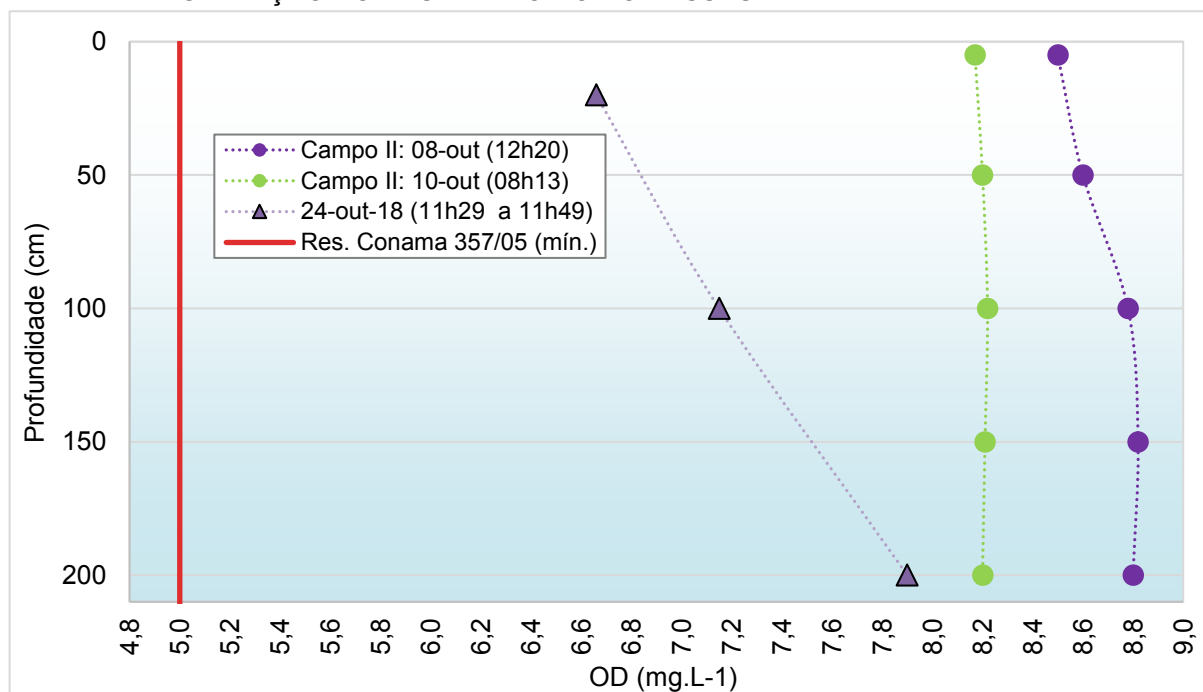
A variação percentual média das temperaturas da água aferidas na superfície no campo II, em relação aos reservatórios de Foz do Areia, Segredo, Salto Santiago

e Salto Caxias, aferidas em outubro de 2013 foram, respectivamente, de 10,36; 2,40; 6,50 e -1,39 %. Em relação a 2008, a variação média na captação do Passaúna foi de 18,33% em relação ao campo II, enquanto em 2016 a foi de apenas 0,61 % que pela variabilidade inerente aos equipamentos de medição empregados (margem de erro), podem ser consideradas temperaturas iguais.

4.1.2 Oxigênio dissolvido (OD)

Com solubilidade inversamente proporcional à temperatura do meio, (fixadas as condições de pressão), a solubilidade do gás oxigênio é de grande importância nos processos de mineralização da matéria orgânica. Mostofa et al. (2013b) mencionam que maiores teores de oxigênio dissolvido (OD) elevam as taxas de fotodegradação. No campo II, as concentrações OD ao longo da coluna d'água (FIGURA 19) mantiveram-se pelo menos 63,40% maior do que o limite mínimo para corpos hídricos de água doce classe 2: $5,0 \text{ mgL}^{-1}$ (BRASIL. Poder Executivo, 2005).

FIGURA 19 – PERFIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO AO LONGO DA COLUNA D'ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR



FONTE: Adaptado de BRASIL. Poder Executivo, (2005); MUDAK-WRM (2019); A autora (2020).

Ao contrário do comportamento dos perfis de temperatura no campo II e dos perfis de OD quantificados há 372 dias ($\pm 1,41$ dias) anteriores ao campo II (MUDAK-WRM, 2019), não houve estratificação do OD em outubro de 2019. Entretanto, o perfil

de OD no campo II corrobora dados do IAP, referentes ao período de 2005 a 2008, que descrevem o padrão de altas concentrações de OD nas camadas superficiais do reservatório do Passaúna, atribuídos a produção fitoplanctônica, grupo predominantemente presente nessa região, pertinente à zona eufótica (PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2009).

A boa distribuição de OD ao longo do trecho de coluna d'água analisado – superfície até a profundidade máxima em que os conjuntos amostrais foram incubados – sugere boas condições de distribuição dos organismos autotróficos ao longo da coluna d'água. Também corrobora suposições realizadas a partir da observação macroscópica, de aspectos como: a ausência de biofilme superficial característico de florações de algas, bancos de macrófitas e/ou quaisquer elementos que prejudiquem a dinâmica de oxigenação da água, em função da interferência na transparência da água, conforme mencionado por Esteves (1998) e Carvalho et al. (2013).

Fortemente relacionado ao perfil de temperatura, o OD teve variações – verticalmente – proporcionais à temperatura, isto é, quando as temperaturas na superfície e a cada meio metro resultaram em valores iguais ou muito próximos, comportamento semelhante pode ser observado para o teor de oxigênio, enquanto quando obtida maior temperatura à superfície, com decréscimos ao longo da profundidade, o OD foi menor à superfície, mas com teores maiores ao longo da coluna d'água enquanto a quantidade de luz penetrada ainda seria favorável aos organismos autotróficos.

Em relação a outros reservatórios localizados em regiões de clima temperado ou subtropical húmicos (Cfb e Cfa), as variações do OD na superfície da água foram moderadas (-16,65 a -10,38 %). Comparado à estudos precursores no reservatório do Passaúna (TABELA 8), o teor médio de OD no campo II variou apenas 1,15 %, podendo ser consideradas concentrações de OD em função do erro inerente à quantificação (diferença de sensores, calibração, método analíticos etc.).

TABELA 8 – OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)

RESERVATÓRIO	CLIMA (KÖPPEN)	OD (mgL ⁻¹)	MÊS/ANO	REFERÊNCIA
Passaúna	Cfb	8,24	out/16	Godoy (2017)
Foz do Areia		9,3	out/13	Adloff et al. (2019)
Segredo		9,6		
Salto Santiago	Cfa/Cfb	10		
Salto Caxias	Cfa	9,4		

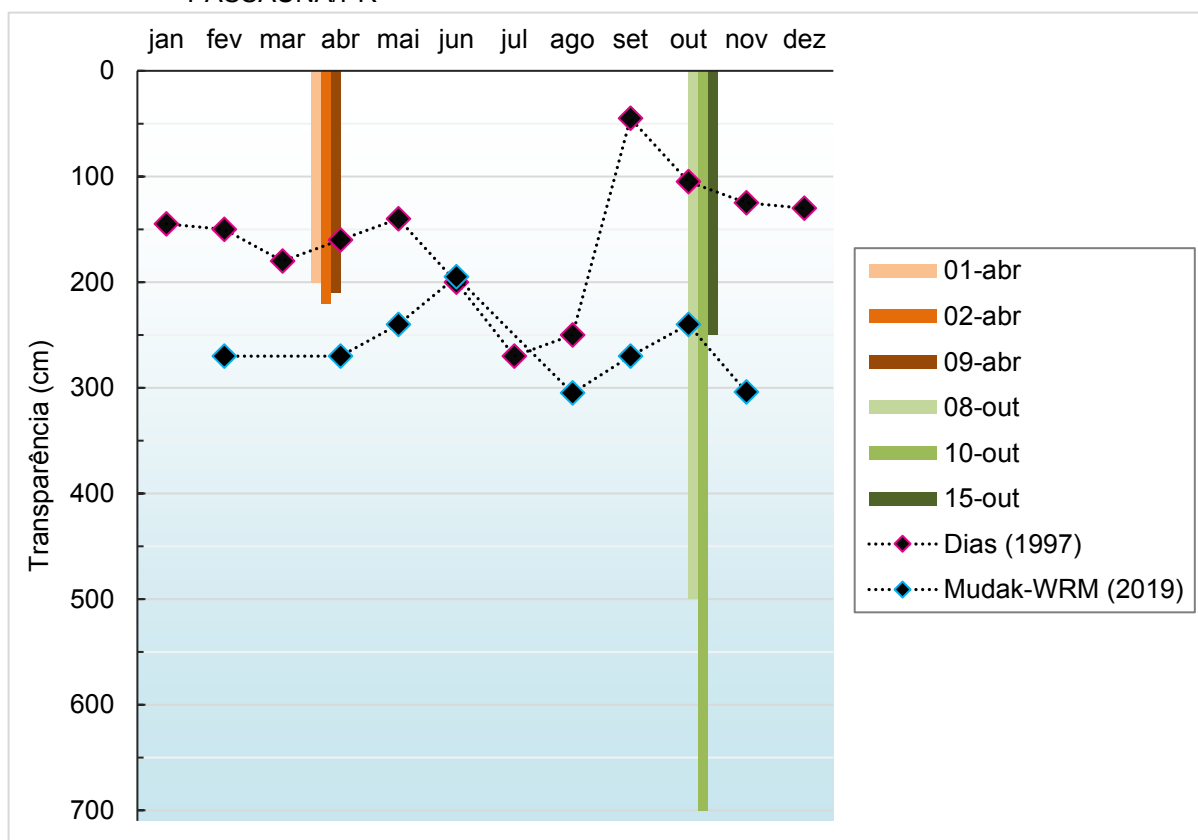
FONTE: A autora (2020).

Apesar da indisponibilidade de dados de OD para o campo realizado em abril, pode-se pressupor menor concentração deste, visto que sua solubilidade diminui conforme a elevação da temperatura – de acordo com Esteves (1998), sob mesmas condições de pressão e umidade relativa, a solubilidade do OD à 0°C é de 14,60 mgL⁻¹, enquanto à 30°C cai para 7,59 mgL⁻¹.

4.1.3 Transparência da água e extensão da zona fótica

A transparência da água (FIGURA 20), no campo I variou em torno do esperado para a mesma região, com base em medições anteriores ao desenvolvimento do presente estudo, entretanto no campo II, os valores aferidos próximo à “hora-zero” (t_0) e após a 1ª retirada (t_2) – realizada cerca de 02 (dois) dias após t_0 – foram bem acima dos registros anteriores.

FIGURA 20 – TRANSPARÊNCIA DA ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR



FONTE: A autora (2020).

É possível que a maior transparência da água verificada no campo II se deva ao período sem chuvas anterior a medição e o tempo com céu ensolarado dias antes,

pois a entrada de sólidos oriundos do escoamento superficial na bacia de drenagem pode elevar a quantidade de sólidos suspensos e aumentar a turbidez, bem como a agitação das águas pode ressuspender o material particulado, provocando, também, a elevação da turbidez. Além disso, a maior exposição a luz solar amplifica o branqueamento da MOD colorida (i.e.: cromofórica ou cromófora) a mineralização da matéria orgânica. (KIEBER; MOOPER, 1987; MORAN; SHELDON; ZEPP, 2000; SUHETT et al., 2006).

Os valores das medições, bem como a variação percentual das transparências aferidas nos campos I e II são apresentados na TABELA 9.

TABELA 9 – TRANSPARÊNCIA (m) DA ÁGUA NA ÁREA DA CAPTAÇÃO NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA/PR: VARIAÇÕES PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À DADOS ANTERIORES

Referência		Campo I (abr/19)			Campo II (out/19)			
	Data		01/abr	02/ abr	09/abr	08/out	10/out	15/out
	Transparência (m)		2,00	2,20	2,10	5,00	7,00	2,50
Dias (1997)	jul/93	2,70	-25,93%	-18,52%	-22,22%	85,19%	159,26%	-7,41%
	ago/93	2,50	-20,00%	-12,00%	-16,00%	100,00%	180,00%	0,00%
	set/93	0,45	344,44%	388,89%	366,67%	1011,11%	1455,56%	455,56%
	out/93	1,05	90,48%	109,52%	100,00%	376,19%	566,67%	138,10%
	nov/93	1,25	60,00%	76,00%	68,00%	300,00%	460,00%	100,00%
	dez/93	1,30	53,85%	69,23%	61,54%	284,62%	438,46%	92,31%
	jan/94	1,45	37,93%	51,72%	44,83%	244,83%	382,76%	72,41%
	fev/94	1,50	33,33%	46,67%	40,00%	233,33%	366,67%	66,67%
	mar/94	1,80	11,11%	22,22%	16,67%	177,78%	288,89%	38,89%
	abr/94	1,60	25,00%	37,50%	31,25%	212,50%	337,50%	56,25%
	mai/94	1,40	42,86%	57,14%	50,00%	257,14%	400,00%	78,57%
	jun/94	2,00	0,00%	10,00%	5,00%	150,00%	250,00%	25,00%
Mudak -WRM (2019)	abr/18	2,70	-25,9%	-18,5%	-22,2%	85,2%	159,3%	-7,41%
	mai/18	2,40	-16,7%	-8,3%	-12,5%	108,3%	191,7%	4,17%
	jun/18	1,95	2,6%	12,8%	7,7%	156,4%	259,0%	28,21%
	ago/18	3,05	-34,4%	-27,9%	-31,1%	63,9%	129,5%	-18,03%
	out/18	2,70	-25,9%	-18,5%	-22,2%	85,2%	159,3%	-7,41%
	nov/18	2,40	-16,7%	-8,3%	-12,5%	108,3%	191,7%	4,17%
	dez/18	3,04	-34,2%	-27,6%	-30,9%	64,5%	130,3%	-17,76%
	fev/19	2,70	-25,9%	-18,5%	-22,2%	85,2%	159,3%	-7,41%
Referência		Campo I (abr/19)			Campo II (out/19)			
		Transparência média (m)						
Dias (1997)		1,58 m ±0,59 m			2,10 m ±0,10 m			
Mudak-WRM (2019)		2,62 m ±0,34 m			4,83 m ±2,25 m			
					32,63%			
					205,26%			
					-19,77%			
					84,65%			

FONTE: A autora (2020).

Os dados sugerem a melhoria da qualidade da água ao longo dos anos, com o aumento da transparência, e, conseqüentemente, permite sugerir a melhora das variáveis limnológicas influenciadas pela transparência, assim como também permitem sugerir a melhoria de valores das variáveis que, quando elevadas, reduzem a transparência, como por exemplo, concentração de sólidos dissolvidos, turbidez etc. A baixa quantidade de substâncias húmicas, que adicionam cor à água, também pode ser pressuposta, a partir desses valores de transparência.

4.1.4 Turbidez

Com crucial influência na transparência da água, conforme mencionado por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011), a turbidez é, conseqüentemente, fator importante para o potencial de fotodegradação da matéria orgânica presente na água.

A FIGURA 21, exibe os valores de turbidez (NTU) da água durante os fotoperíodos em que as amostras incubadas no reservatório foram irradiadas. Tanto no campo I, quanto no campo II, foram expressivamente menores do que os 100 NTU condicionados pelo CONAMA, para corpos hídricos de água doce classe 2 (BRASIL. Poder Executivo, 2005).

FIGURA 21 – VALORES DE TURBIDEZ (NTU) VERIFICADAS À SUPERFÍCIE DA REGIÃO DA CAPTAÇÃO DURANTE OS PERÍODOS DE EXPOSIÇÃO À LUZ NATURAL



FONTE: Adaptado de MUDAK-WRM (2019); A autora (2020).

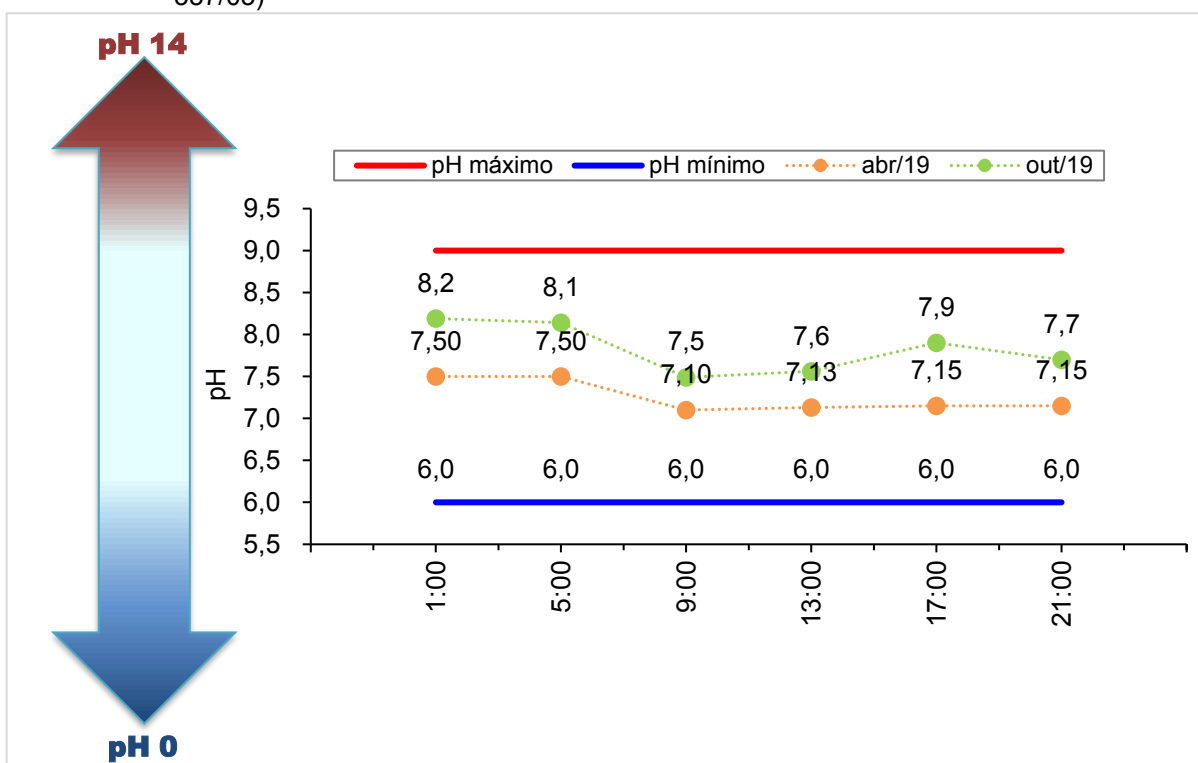
Os menores valores de turbidez no campo II, em comparação ao campo I, bem como as maiores profundidades de transparência, favorecem o processo de

fotodegradação, facilitando a penetração de maior quantidade de luz na água coluna d'água e, conseqüentemente, contribuindo a simplificação – transformação de moléculas maiores e mais complexas em compostos de menor tamanho e complexidade – o branqueamento do COD colorido e a mineralização da matéria orgânica.

4.1.5 pH

O pH na aferido na captação, ligeiramente alcalino em ambas as amostragens, esteve mais próximo à neutralidade em abril (CAMPO I), do que em outubro (campo II), conforme exibido na FIGURA 22.

FIGURA 22 – pH: COMPARATIVO ENTRE AS MEDIÇÕES NA REGIÃO DA CAPTAÇÃO NAS DATAS DAS AMOSTRAGENS E OS LIMITES ESTABELECIDOS PELO CONAMA (RES. 357/05)



FONTE: Adaptado de SANEPAR (2019a; 2019b); BRASIL. Poder Executivo (2005).

O pH médio ao longo do período registrado no dia da amostragem referente ao campo II foi $7,83 \pm 0,30$, -10,00 % em relação a medição realizada em outubro de 2016 (GODOY, 2016). Comparado aos valores de pH aferidos em outubro de 2013 nos reservatórios de Foz do Areia, Segredo, Salto Caxias e Salto Santiago, as variações percentuais foram de -13,96; -12,02; -8,95 e -16,70%. Os valores de pH

menos ácidos observados nos reservatórios supracitados, também situados em clima Cfb e, adicionalmente, sob influência de clima Cfa, podem ter como causa fatores que vão desde influências autóctones de atividade biológica, à fatores externos ao meio aquático, composição, uso da terra na bacia de drenagem.

MOSTOFA et al. (2013b), pontuam que aumento do pH pode desacelerar a fotodegradação da MOD. Neste sentido, a amostra mais básica, coletada no campo II, potencialmente seria menos passível a degradação do que a coletada no campo I. Entretanto, é importante considerar que as oscilações de pH que ocorrem fora do microambiente formado no interior dos frascos podem ser completamente diferentes, visto que diversos fatores contribuem para as alterações físicas e químicas da água. Além de interferir na velocidade de degradação da matéria orgânica, o pH condiciona a tolerabilidade ao nitrogênio amoniacal no meio aquático (BRASIL. Poder Executivo, 2005), afinal em ambientes aquáticos com pH básico as reações químicas favorecem à transformação do íon amônio em amônia livre gasosa (NH_3 (g) livre), que possui maior potencial tóxico (ESTEVES, 1998) – concentrações a partir de $0,01 \text{ mgL}^{-1}$ podem ser tóxicas aos peixes, com grande parte das espécies não suportando concentrações acima de 5 mgL^{-1} (CETESB, 2020).

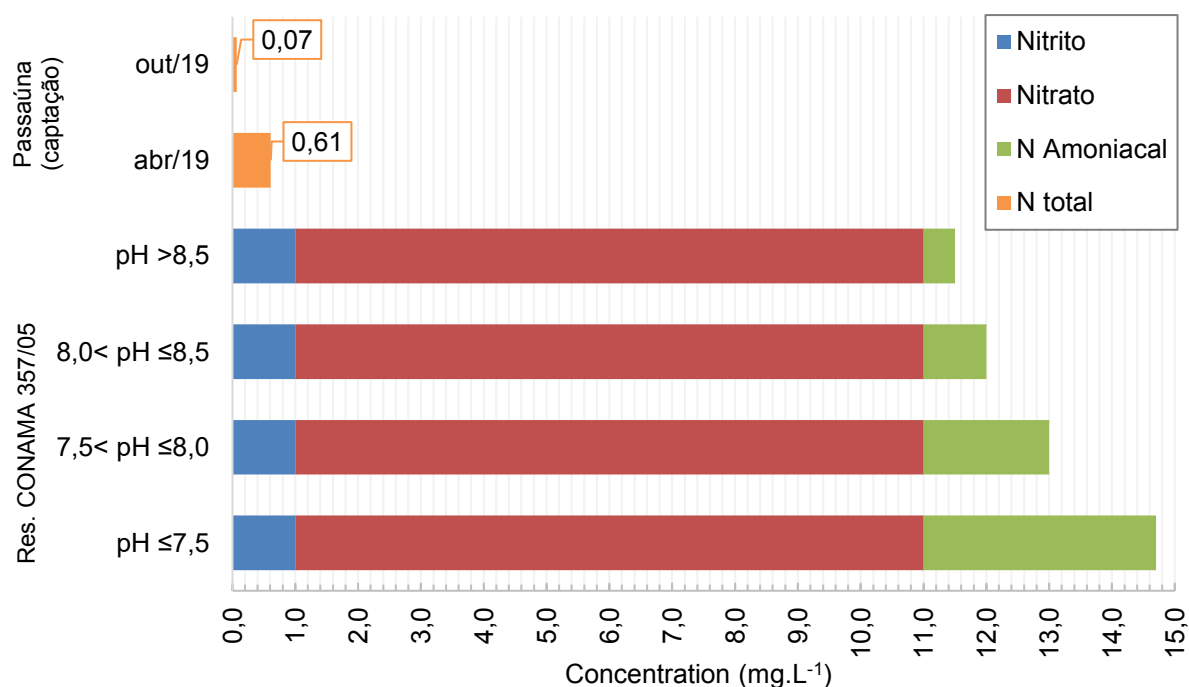
4.1.6 Nutrientes: nitrogênio (N) e fósforo (P)

O nitrogênio amoniacal (NH_3 e NH_4^+), assim como o nitrato (NO_3^-), o nitrito (NO_2^-), e o nitrogênio orgânico, compõem o denominado nitrogênio total (NT), que, por sua vez, não figura como parâmetro de qualidade da água na Res. CONAMA nº375/05. Já o nitrogênio orgânico não é mencionado na resolução literalmente, com essa nomenclatura, mas aparece por meio de diferentes compostos orgânicos que contém nitrogênio em sua composição. Contudo, a soma das frações nitrogenadas – nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal – possuem valores máximos toleráveis no meio aquático para cada classe de corpo hídrico. Especialmente, o nitrogênio amoniacal tem sua concentração limite definida em função do pH, pois a acidez da água influencia as reações de oxidação à NO_2^- e NO_3^- .

Na região da captação, o pH variou de 7,10 a 7,50 no dia da amostragem pertinente ao campo I, enquadrando suas águas no intervalo mais permissível – de $13,0$ a $14,7 \text{ mgL}^{-1}$, enquanto durante o campo II, o pH variou entre 7,50 à 8,20 – com a água ligeiramente mais básica do que no campo I – tendo limites da somatória de

NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- e NO_2^- um pouco menores: de 12,0 a 13,0 mgL^{-1} . Nesse sentido, a FIGURA 23 exibe concentrações de NT: 95,85% abaixo da somatória das frações nitrogenadas, no campo I; e 99,44% menor para a concentração pertinente à faixa de pH entre $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ (mais restritiva); 99,44% abaixo do limite para pH menores ou igual a 7,5.

FIGURA 23 – NITROGÊNIO TOTAL: COMPARATIVO ENTRE AS AMOSTRAGENS E OS LIMITES PARA AS FRAÇÕES NITROGENADAS ESTABELECIDOS PELO CONAMA (RESOLUÇÃO 357/05)



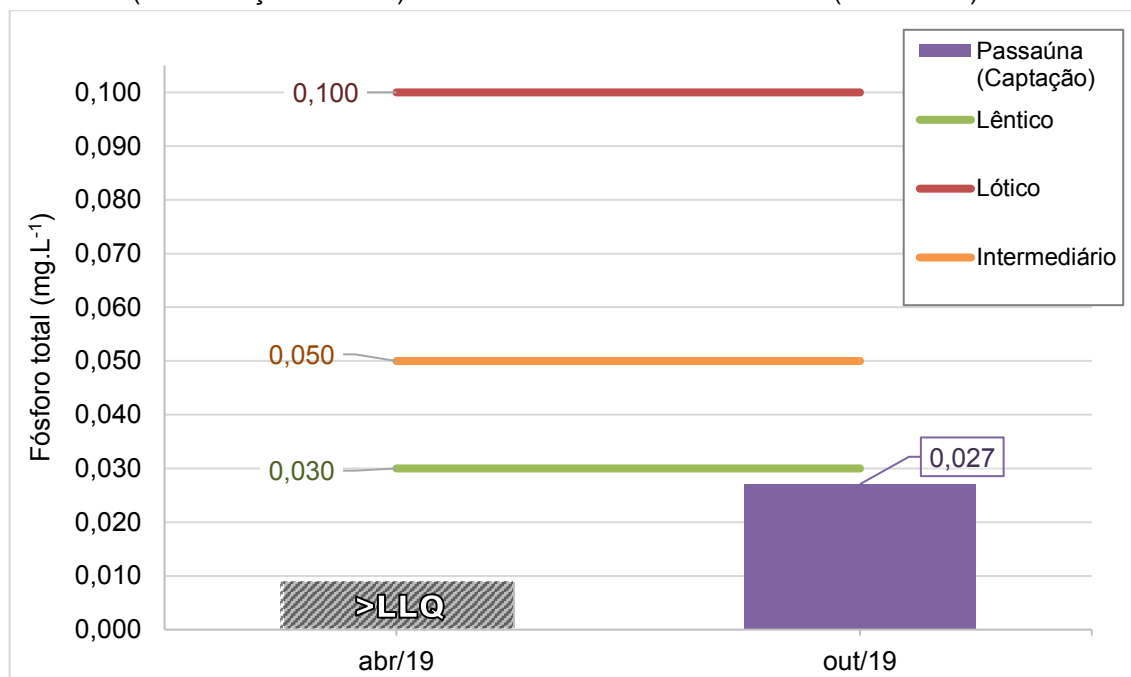
FONTE: A autora (2020); BRASIL. Poder Executivo (2005).

De outubro de 2001 a setembro de 2002, Coquemala (2005) observou concentrações de NT, na região da captação do reservatório do Passaúna variando de 0,2684 a 2,0333 mgL^{-1} , ou seja, respectivamente variando de 127,27% menor a 70,00% maior do que o NT quantificado no campo I; e de 74,99 a 96,70 % maiores do que o teor de NT quantificado no campo II.

Além do nitrogênio, o nutriente que tem grande importância como parâmetro de qualidade da água, devido sua condição de fator limitante à produtividade na maioria dos ambientes aquáticos continentais (ESTEVES, 1998), é o fósforo. Na região da captação do reservatório do Passaúna, conforme exibido na FIGURA 24, a concentração de fósforo total, verificada a partir da amostragem realizada no campo I, foi abaixo do limite de quantificação (<LLQ), diferentemente do observado no campo II, onde a concentração mensurada apresentou-se 35,00% acima do limite

máximo, recomendado para ambientes lênticos dulcícolas em corpos hídricos de classe 2 (BRASIL. PODER EXECUTIVO, 2005).

FIGURA 24 – FÓSFORO TOTAL: COMPARATIVO ENTRE AS AMOSTRAGENS E PADRÃO CONAMA (RESOLUÇÃO 357/05) PARA CADA TIPO DE AMBIENTE (CLASSE 2)



FONTE: A autora (2020); BRASIL. Poder Executivo (2005).

Apenas a concentração de fósforo quantificada no campo II não configura por si só um problema grave de qualidade da água, pois apesar de o nutriente ser fator limitante a produtividade no meio aquático, a proporção com o teor de nitrogênio é de grande relevância. Outro aspecto a se considerar é a origem desse excedente de fósforo: é necessário ponderar se sua fonte é pontual, difusa, natural ou antrópica etc.

Diversos autores (ESTEVES, 1998; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011), pontuam que o fósforo pode ter origem em esgotos domésticos, mas neste caso, o teor de nitrogênio total seria elevado, dada a presença expressiva de nitrogênio amoniacal e/ou nitrogênio orgânico. Caso a fonte tivesse origem de atividades agropecuárias, o nitrogênio também seria elevado, dada a contribuição dos fertilizantes agrícolas ou manejo incorreto de dejetos dos animais criados. Fontes de origem industrial também seriam identificadas e rastreadas mais facilmente, a partir de mudanças significativas em outras variáveis importantes associadas à qualidade da água.

A concentração de PT quantificada na amostragem do campo I foi expressivamente abaixo das registradas noutros reservatórios localizados em regiões

de clima temperado oceânico e subtropical (Cfb e Cfa, respectivamente), conforme exibido na TABELA 10.

TABELA 10 – FÓSFORO TOTAL EM RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)

RESERVATÓRIO	CLIMA	FÓSFORO TOTAL (mgL ⁻¹)	DATA	REFERÊNCIA
Foz do Areia	Cfb	0,040	nov/12	Marcante et al. (2018)
Hassel	Cfb	0,022 a 0,051	2013/2014	Morling, Herzsprung e Kamjunke (2017)
Rappbode	Cfb	0,014 a 0,040		
Foz do Areia	Cfb	0,048		
Salto Segredo	Cfb	0,074	out/13	Adloff et al. (2019)
Salto Santiago	Cfa/Cfb	0,069		

FONTE: A autora (2020).

A menor e a maior diferença absoluta (módulo da diferença) percentual entre os 0,027 mgL⁻¹ de fósforo total quantificados na campanha de outubro foram, para a região da captação do reservatório do Passaúna foram observadas, respectivamente, nos pré-reservatórios alemães Hassel (23,091%) e Rappbode (93,429%), que tem a função principal de reter a maior parte dos sedimentos e material particulado em suspensão que vêm da seção fluvial para o reservatório principal. Apesar da semelhança climática entre as localidades dos reservatórios comparados ao Passaúna – mesmo quando ambos situados no estado do Paraná – as diferenças absolutas verificadas, superiores a 10%, podem ser em função das particularidades de ocupação da bacia – e suas respectivas interferências no aporte de fósforo para o meio aquático – tal como diferenças de tempo de residência da água dos reservatórios (TABELA 11).

TABELA 11 – TEMPO DE RESIDÊNCIA NO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA E EM OUTROS RESERVATÓRIOS SITUADOS EM REGIÕES DE CLIMA TEMPERADO/SUBTROPICAL HÚMIDO (Cfb E/OU Cfa)

Reservatório	Tempo de residência (dias)	Referência
Passaúna	351.0	PARANÁ (2017)
Foz do Areia	102.0	
Salto Santiago	50.8	
Segredo	47.0	
Salto Caxias	31.0	
Salto Osório	16.0	
Rappbode	16.0	Morling, Herzsprung e Kamjunke (2017)
Hassel	27	

FONTE: A autora (2020).

Lamparelli (2004) observou diferenças nos efeitos de valores equivalentes de fósforo (p. 214) sobre a produção primária, em reservatórios distintos, apontando o tempo de residência como principal hipótese para explicar tal ocorrência, pois pode atenuar os efeitos da eutrofização – assim como descrito por Esteves (1998, p. 223):

O aumento do fluxo de água, visando reduzir o seu tempo de residência, tem efeitos diretos na redução da biomassa de algas. Uma condição básica para o emprego deste método é a disponibilidade de água para tal fim.

Mesmo com os objetivos desta análise não contemplando dados de clorofila- α (variável de mensuração indireta da produção primária aquática), faz-se relevante a menção desta relação com o tempo de residência e é relevante, visto que o fósforo é condicionante da comunidade fitoplanctônica, que tem parte nos processos de ciclagem de nutrientes e interfere na disponibilidade do fosfato no meio aquático.

Além da relação supracitada, Esteves (1998) descreve a existência de alguns outros fatores físicos, químicos e físico-químicos que atuam em sua imobilização no meio aquático, destacando-se: “a concentração dos íons ferro, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos e carbonatos, pH e condições de oxirredução. Entre todos os íons que interferem na precipitação do fosfato, os de ferro têm o papel mais importante” (p.87).

Nesse sentido, águas do Passaúna ricas em ferro, e o tempo de residência diferenciado em relação aos demais reservatórios pode explicar, em parte, as diferenças de concentração de fósforo total aferidas nas camadas superficiais da coluna d'água.

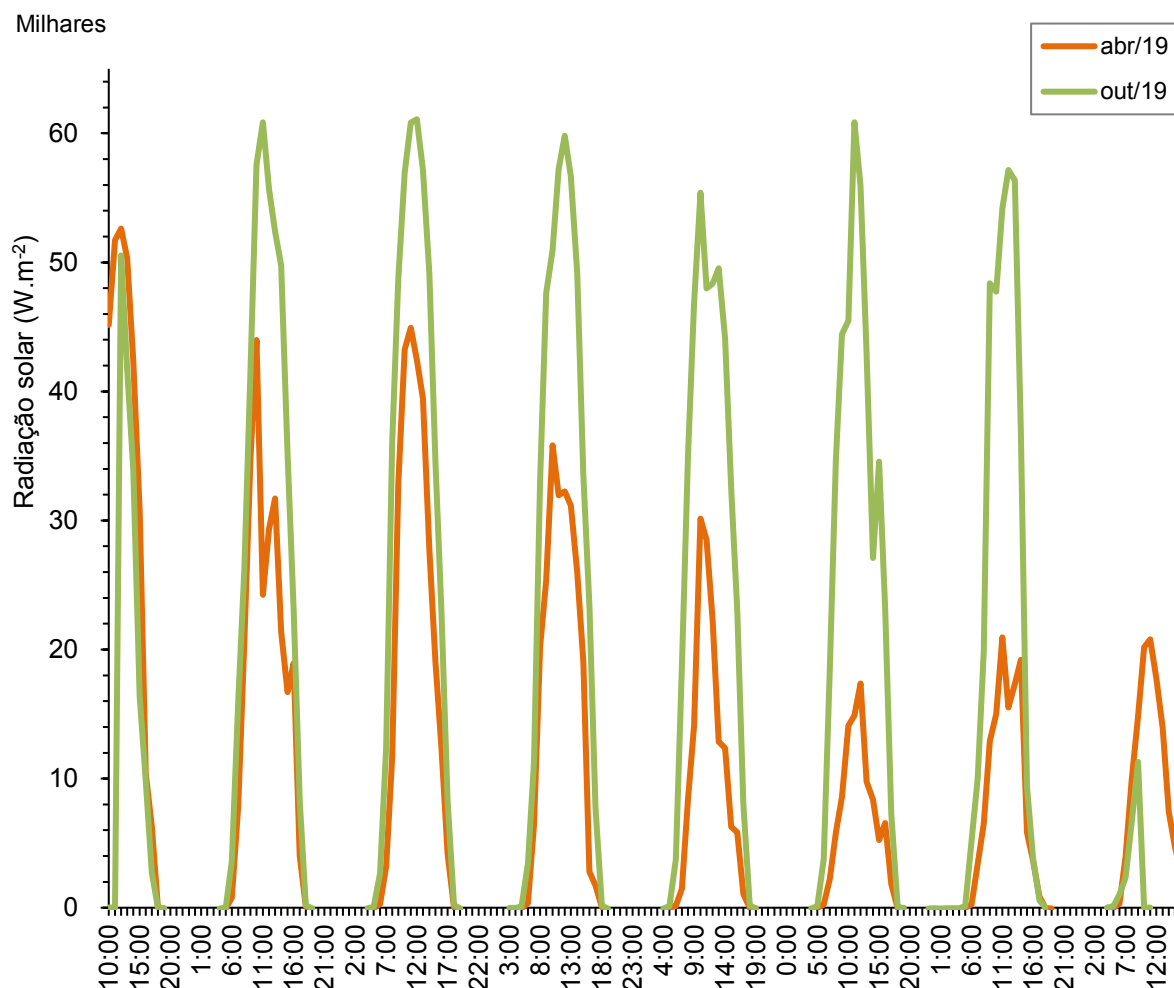
4.1.7 Radiação solar

A representação gráfica das curvas de radiação solar (FIGURA 25) ilustra a maior quantidade de radiação (W.m^{-2}) ao longo dos períodos de incubação, de aproximadamente 07 (sete) dias, ocorridos nos campos I e II.

A radiação solar por hora de exposição (KWhm^{-2}) registrada para o campo I, realizado em abril de 2019, foi menor do que a no campo II, realizado em outubro do mesmo ano (TABELA 12). No intervalo de tempo compreendido entre a “hora-zero” (t_0) e a 1ª retirada (t_2), o saldo energético referente ao campo I foi 3,54% menor do que o do campo II. Considerando todo o período, ou seja, desde a “hora-zero” (t_0) até

a 2ª retirada (t_7) o saldo energético referente ao campo I foi 43,27% menor do que o do campo II.

FIGURA 25 – RADIAÇÃO SOLAR DURANTE O PERÍODO DE INCUBAÇÃO PARA A FOTODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA



FONTE: A autora (2020).

TABELA 12 – RADIAÇÃO TOTAL E POR TEMPO DE EXPOSIÇÃO

MÊS DE REFERÊNCIA	CAMPO	ETAPA	PERÍODO DE IRRADIAÇÃO (h)	RADIAÇÃO TOTAL (W.m ⁻²)	RADIAÇÃO POR HORA (KWh.m ⁻²)
Abr/19	I	1ª retirada	27,95	633.050,03	22,65
		2ª retirada	94,70	1.487.025,52	15,70
Out/19	II	1ª retirada	24,62	578.089,66	23,48
		2ª retirada	93,27	2.581.738,46	27,68

FONTE: Adaptado de INMET (2019a).

A partir da profundidade de transparência, em metros, foram obtidos os valores de coeficiente de atenuação vertical (k), de Poole e Atkins (1929), expressos na TABELA 13.

Para o cálculo do k referente ao campo I, foi adotada a média das transparências (medições com disco de Secchi), devido ao baixo desvio padrão entre as medições, enquanto no campo II, o desvio padrão da transparência média foi alto (aproximadamente 46,65% da média), requerendo a verificação do impacto da variação da transparência ao longo do período de incubação das amostras no reservatório (APÊNDICE B), por meio do cálculo de coeficientes de atenuação vertical (k) (EQUAÇÃO 3), a partir: i) da transparência média ao longo de todo período; ii) das transparências médias ajustadas para os períodos intermediários às datas das medições de transparência; e iii) das medições realizadas nas datas da “hora-zero, da 1ª retirada e da 2ª retirada.

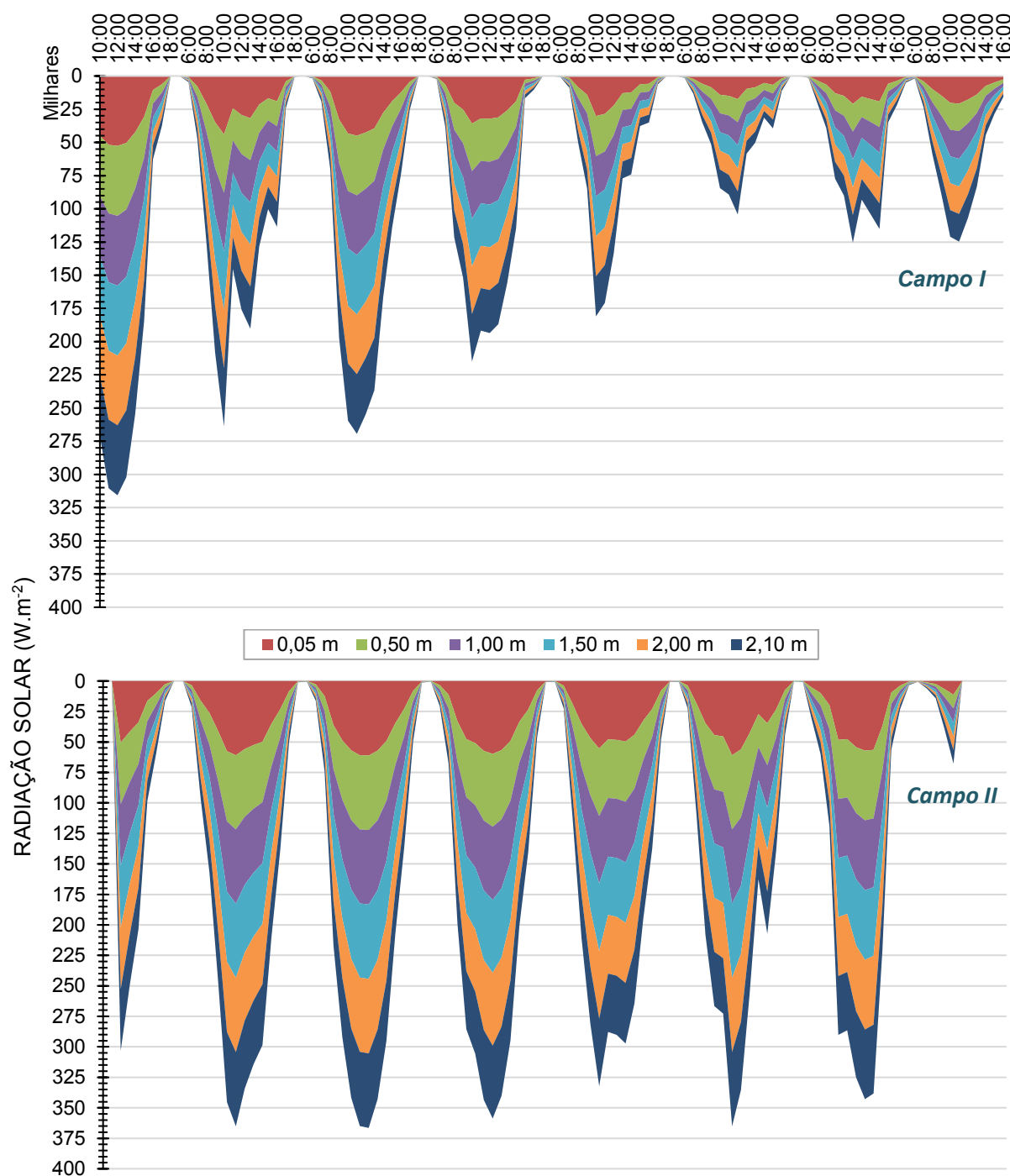
TABELA 13 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) DA RADIAÇÃO

PERÍODO	DATA	TRANSPARÊNCIA (m)	k CALCULADO
Campo I	01-abr	2,00	0,85
	02-abr	2,20	0,77
	09-abr	2,10	0,81
	Transparência média = 2,10 ($\pm 0,10$)		0,81
Campo II	08-out	5,00	0,34
	10-out	7,00	0,24
	15-out	2,50	0,68
	Transparência média = 4,83 ($\pm 2,25$)		0,35
09-out	08-out	5,00	0,34
	10-out	7,00	0,24
	Transparência média = 6,00 ($\pm 1,41$)		0,28
11-out a 14-out	10-out	7,00	0,24
	15-out	2,50	0,68
	Transparência média = 4,75 ($\pm 3,18$)		0,36

FONTE: A autora (2020).

Tanto diluir o erro ao longo da média geral, quanto fidelizar o valor original nas datas das medições e atribuir médias nos períodos intermediários, gerou valores de radiação próximos (APÊNDICE B) – com variações da ordem de décimos a centésimos, em valores totais da ordem de dezenas a milhares de watts – o que pode ser atribuído à todas as profundidades de incubação serem menores do que as transparências medidas no campo II (aproximadamente, nos tempos t_0 , t_2 e t_7 . Os gráficos da FIGURA 26 ilustram a quantidade de radiação solar que penetra em cada estrato da água onde as amostras foram incubadas, respectivamente nos campos I e II, permitindo visualizar a redução do volume total de energia conforme o aumento da profundidade.

FIGURA 26 – RADIAÇÃO SOLAR CORRIGIDA PELO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL DA ÁGUA – CAMPO I E II



FONTE: A autora (2020).

4.2 EXPERIMENTO I: FOTODEGRADAÇÃO DA MON DISSOLVIDA

4.2.1 Carbono orgânico dissolvido (COD)

As amostragens realizadas em abril e outubro, revelarem as concentrações de 2,616 e 2,153 mgL⁻¹ de COD na superfície da região da captação do reservatório

do Passaúna, indicando o baixo teor de matéria orgânica natural (MON) na área de maior interesse do reservatório, dada a finalidade de uso do recurso. Em relação aos teores verificados em 33 (trinta e três) reservatórios de diferentes localidades, a concentração de COD na amostra de abril foi similar às verificadas em três reservatórios brasileiros (Capivari, Itumbiara e Três Marias), um alemão (Rappbode) e um estadunidense (i.e.: suas concentrações variaram de -9,33 % a 0,99 % em relação a concentração mensurada na captação do Passaúna). Destes quatro reservatórios, apenas a represa do Capivari e o reservatório Rappbode estão em locais com clima Cfb, segundo a classificação de Köppen (1936), assim como o reservatório do Passaúna (FIGURA 27; TABELA 14).

No campo I, de acordo com a análise de variância (ANOVA), detalhada no APÊNDICE D, apenas a variação ao longo do tempo de incubação impactou significativamente a concentração de COD, tanto entre os conjuntos amostrais expostos a luz solar, (variável ao longo da coluna d'água devido à atenuação vertical), quanto nos conjuntos fotoprotetidos ($p > 0,05$). No campo II, não houve diferença estatística para as variações temporal e espacial. Na TABELA 14 variação do COD é exibida na, assim como as diferenças, segundo teste Tukey.

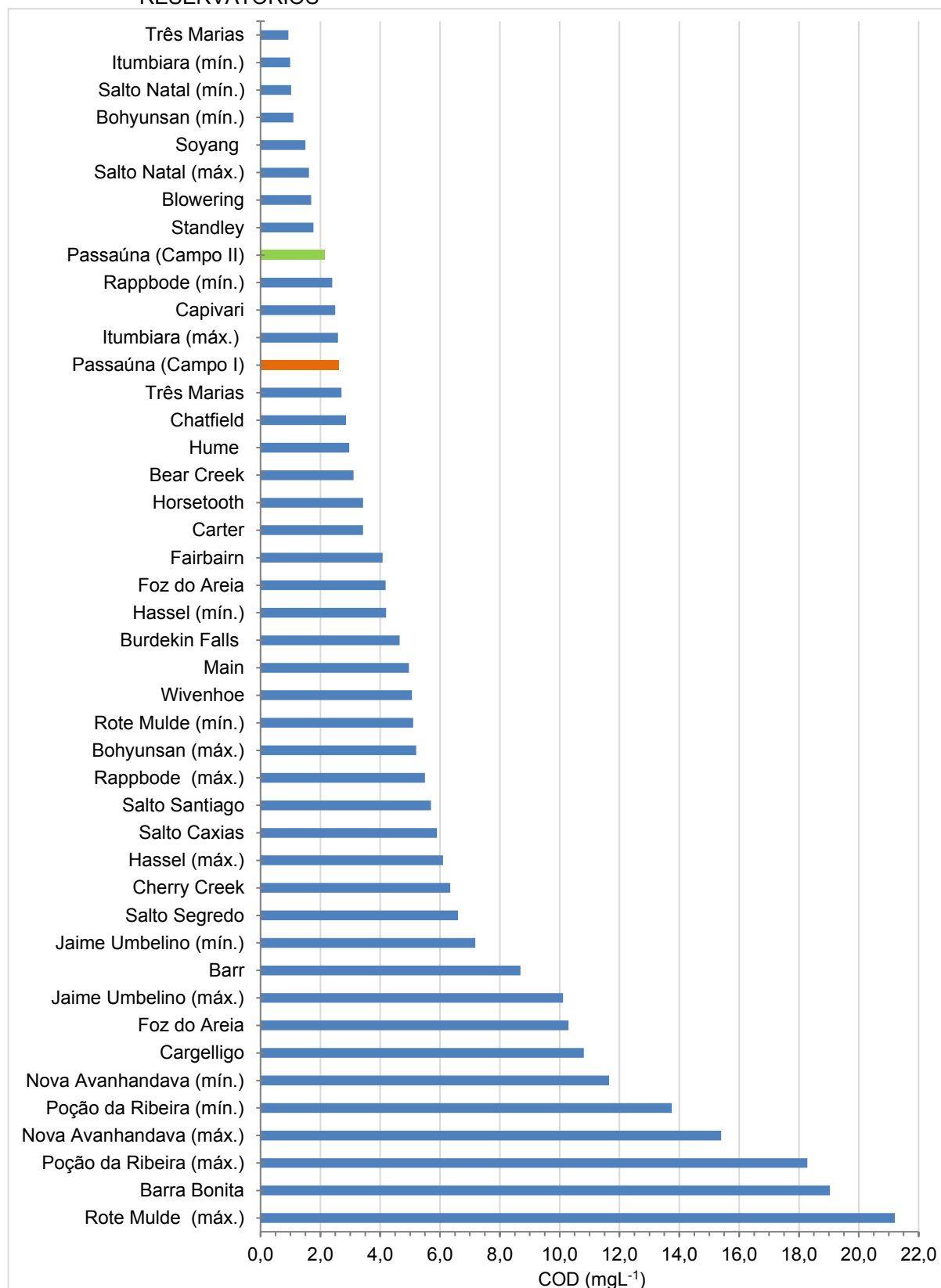
TABELA 14 – VARIAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (Δ COD) DA MON NOS CAMPOS I E II

		COD (mgL ⁻¹)			Δ COD (%)		
		t ₀	t ₂	t ₇	t ₀ a t ₂	t ₀ a t ₇	t ₂ a t ₇
Campo I (Abr/19)	0,05 m	2,616 Aa	3,059 Bb	3,866 Cc	16,92	47,78	26,40
	Escuro (0,10 m)	2,616 Aa	3,183 BCb	3,386 Cc	21,66	29,43	6,39
	0,50 m	2,616 Aa	3,099 BCb	3,537 Cc	18,45	35,21	14,15
	1,00 m	2,616 Aa	3,049 Bb	3,701 Cc	16,56	41,48	21,37
	1,50 m	2,616 Aa	3,006 ACb	3,279 Cc	14,92	25,34	9,07
	2,00 m	2,616 Aa	3,105 BCb	3,557 Cc	18,68	35,97	14,57
	Escuro (2,10 m)	2,616 Aa	3,443 Bb	*	31,61		
Campo II (Out/19)	0,05 m	2,153 Dd	3,731 Dd	1,699 Dd	73,29	31,77	12,76
	0,50 m	2,153 Dd	2,516 Dd	2,837 Dd	16,86	30,52	15,92
	1,00 m	2,153 Dd	2,424 Dd	2,810 Dd	12,59	20,81	9,79
	1,50 m	2,153 Dd	2,369 Dd	2,601 Dd	10,03	30,89	-1,40
	2,00 m	2,153 Dd	2,858 Dd	2,818 Dd	32,75	14,26	
	Escuro (2,10 m)	2,153 Dd		2,460 Dd			

NOTA: Concentrações de seguidas de mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Percentuais negativos indicam diminuição e positivos indicam aumento da concentração de COD em relação ao valor período de referência.

FONTE: A autora (2020).

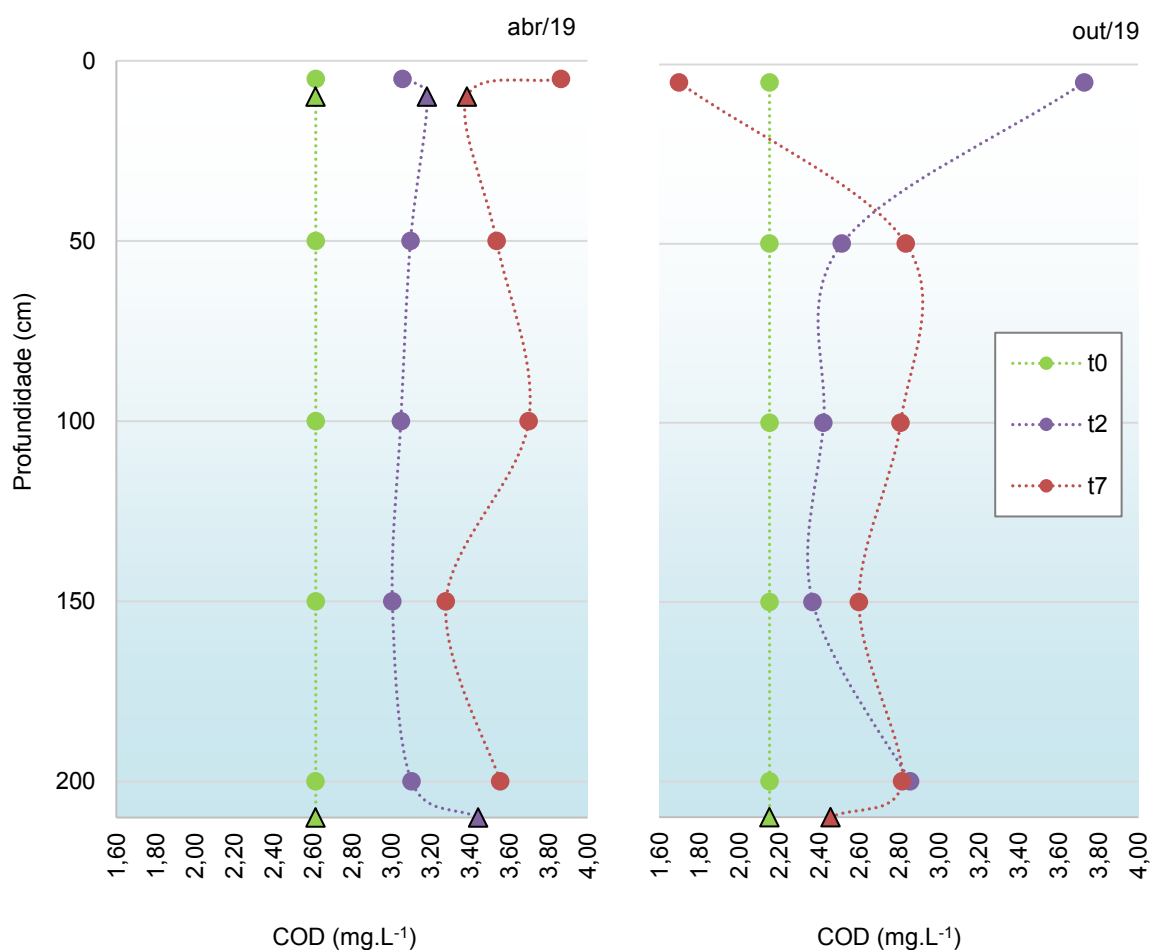
FIGURA 27 – CONCENTRAÇÕES DE COD (mgL^{-1}) NA CAPTAÇÃO DO PASSAÚNA E EM OUTROS RESERVATÓRIOS



FONTE: Adaptado de ARENZ-JR, LEWIS-JR e SAUNDERS-III (1996); KIM et al. (2000); ALCÂNTARA et al. (2015); FERREIRA (2014); CHEN et al. (2015); HESTIR et al. (2015); MANNICH et al. (2015); NEVES et al. (2015); AUSTRALIAN. Bureau of Meteorology, 2016; RODRIGUES et al. (2016); SANTOS (2016); MORLING, HERZSPRUNG e KAMJUNKE (2017); MARCANTE et al. (2018); TESSAROLLI et al. (2018); ADLOFF et al. (2019); CLIMATE-DATA.ORG, 2020.

A FIGURA 28 ilustra as variações quantitativas da MON dissolvida em termos de COD (mg.L^{-1}), em ambos os períodos amostrais – abril e outubro de 2019 – para a “hora-zero” (t_0) e para os tempos: t_2 , e t_7 que, respectivamente, equivalem a aproximadamente 02 (dois) e 07 (sete) dias após o início da incubação (t_0). Tanto no campo I, quanto no campo II ocorreram pequenos incrementos no COD quantificado ao longo do tempo de incubação. Variações positivas podem ter causado distintas, seja pela margem de erro inerente ao método analítico, que tem limitações para quantificar compostos de maior peso molecular, resistentes a temperatura de combustão do analisador de carbono total, ou ainda, pelos formação de biomassa (crescimento e reprodução) e processos metabólicos do microplâncton presente no inóculo, que assimila substratos orgânicos, inicialmente com estrutura molecular mais complexa, mas que depois foram simplificados ao longo do tempo de irradiação.

FIGURA 28 – VARIAÇÕES TEMPORAL E VERTICAL DAS CONCENTRAÇÕES DE COD DA MON



NOTA: no gráfico, os marcadores triangulares indicam as amostras incubadas no escuro (em frascos envolvidos com material fotoprotetor) e os marcadores circulares indicam as amostras expostas à luz.

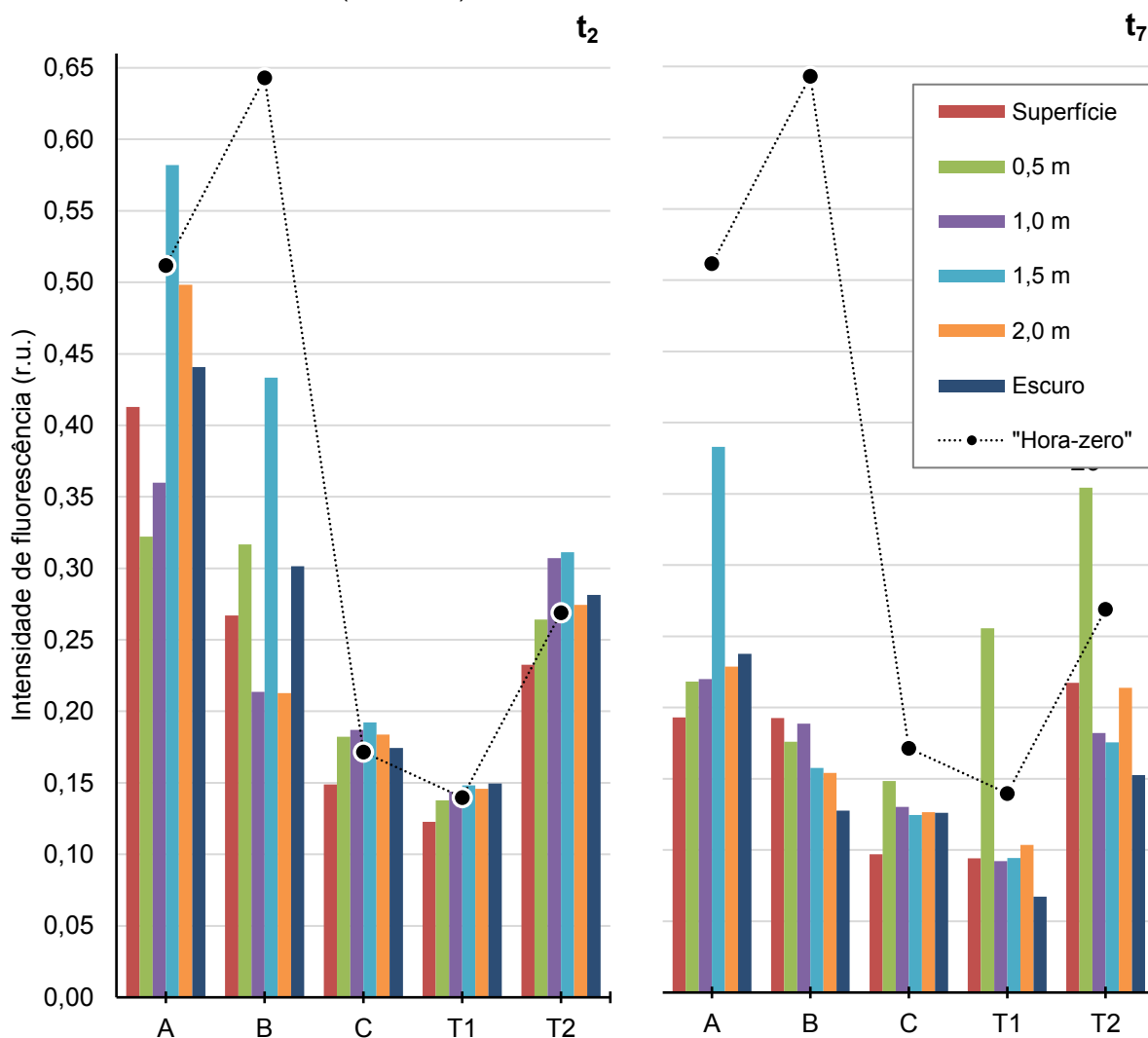
FONTE: A autora (2020).

4.2.2 Intensidade de fluorescência (IF)

Além dos teores de COD nas amostras de água, os picos A, B, C, T1 e T2 de intensidade de fluorescência (IF), em unidades Raman (r.u.), emitida pelas amostras, demonstram as transformações e o decaimento sofridos pela matéria orgânica ao longo do tempo de exposição à radiação solar.

Ao final do primeiro período de incubação (t_2), foram observados pequenos aumentos de IF na profundidade de 1,5 m nas bandas A, C, T1 e T2; e apenas a IF associada à tirosina diminuiu. Ao final do experimento (t_7), houve diminuição de todos picos de IF, em comparação à amostragem realizada na “hora-zero” (t_0), exceto nos picos associados ao triptofano nas amostras incubadas a 0,5 m de profundidade (FIGURA 29).

FIGURA 29 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA (CAMPO I)



FONTE: A autora (2020).

No campo I, ao final de ambos os períodos de incubação (i.e.: tempos t_2 e t_7) a variação das IF em cada pico não foi significativa em função da posição na coluna d'água, assim como também não distinguiu os conjuntos expostos a radiação luminosa do fotoprotegido. Entretanto, houve diferença significativa entre os picos A, B, C, T1 e T2 ($p \approx 2,91.10^{-8}$, no t_2 ; e $p \approx 0,001$ no t_7), indicando a diversidade de constituintes da MON dissolvida e maior expressividade de um composto em detrimento doutro (FIGURA 30 e TABELA 15).

TABELA 15 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA POR CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO (CAMPO I)

		Picos				
		A	B	C	T1	T2
1ª retirada (t_2)	Superfície (0,05 m)	0,413 d	0,267 de	0,149 e	0,123 e	0,233 de
	Escuro (0,10 m)	0,498 d	0,213 de	0,184 e	0,146 e	0,274 de
	0,50 m	0,441 d	0,301 d	0,174 d	0,150 d	0,281 d
	1,00 m	0,322 d	0,317 d	0,182 d	0,138 d	0,264 d
	1,50 m	0,360 d	0,214 df	0,187 e	0,144 e	0,307 ef
	2,00 m	0,582 d	0,433 e	0,192 e	0,148 e	0,311 d
2ª retirada (t_7)	Superfície (0,05 m)	0,193 g	0,193 g	0,097 g	0,094 g	0,217 g
	Escuro (0,10 m)	0,238 g	0,128 gh	0,126 h	0,067 h	0,153 gh
	0,50 m	0,218 g	0,176 g	0,148 g	0,256 g	0,354 g
	1,00 m	0,220 g	0,189 g	0,130 g	0,092 g	0,182 g
	1,50 m	0,383 g	0,158 gi	0,125 h	0,095 h	0,176 hi
	2,00 m	0,229 g	0,154 h	0,127 h	0,104 h	0,214 g

NOTA: Intensidades de fluorescência na mesma linha, seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

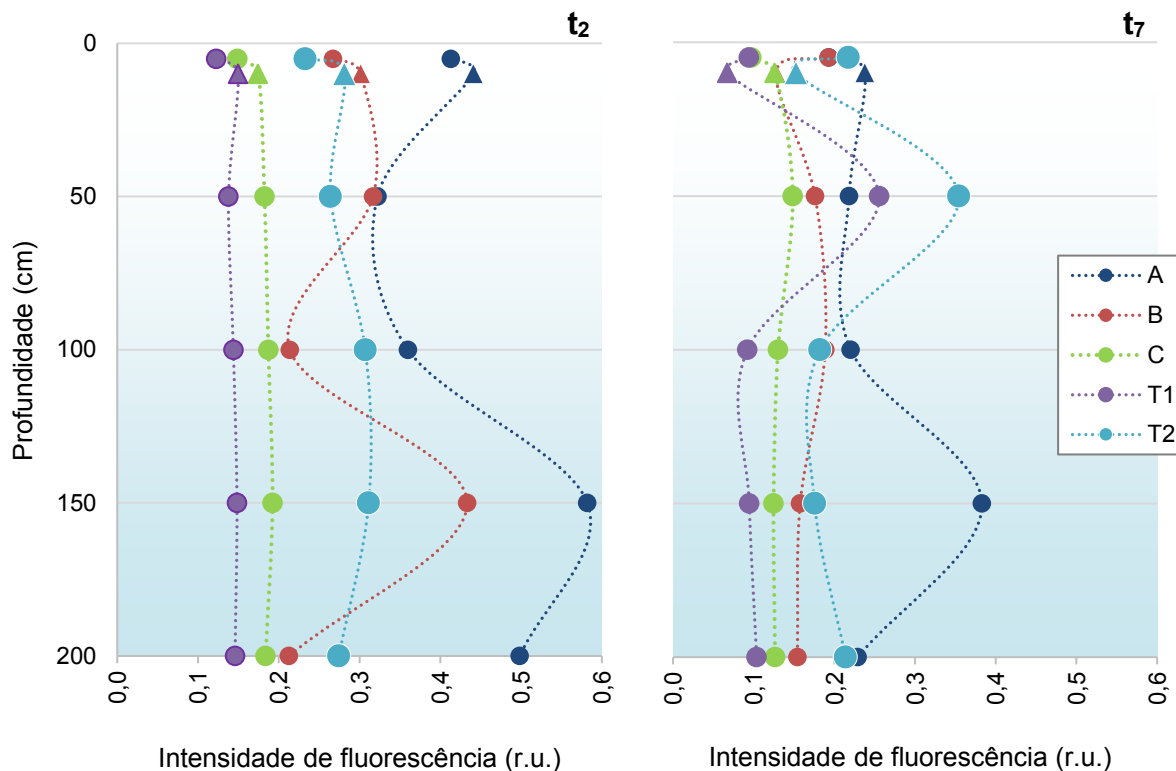
FONTE: A autora (2020).

A variação dos fluoróforos da MOD menos lábil (pico A) e da MOD lábil (pico B) demonstra a proporcionalidade inversa entre a degradação de matéria refratária, nas camadas superiores da coluna d'água: diminuição MOD expressa pela IF em A, produzindo MOD expressa pela IF em B na superfície. No entanto, com o aumento da profundidade o padrão das curvas se altera, refletindo a diminuição da radiação que penetra na água em função da atenuação vertical. Especialmente nos 50 cm, onde pode ser observado aumento mais acentuado das IF, principalmente nos picos associados ao triptofano (T1 e T2), indicando assim atividade fitoplanctônica (organismos autotróficos sob condições ótimas de irradiação, temperatura, disponibilidade de nutrientes, entre outros) ou da fotodegradação.

No campo II, a MON dissolvida, detectada na amostra referente à “hora-zero” (t_0) de incubação, teve composição predominante de AH, conforme os valores

indicados na TABELA 16, corroborando a predominância de “MOD fluorescente relacionada a substâncias húmicas” relatada por Godoy (2017).

FIGURA 30 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE NOS TEMPOS t_2 E t_7 DE INCUBAÇÃO (CAMPO I)



NOTA: Os marcadores triangulares representam o conjunto amostral incubado no escuro e os marcadores circulares indicam as amostras expostas à luz.

FONTE: A autora (2020).

A IF no pico A foi 82,08% menor em relação à detectada no experimento de campo realizado em abril. Os valores baixos de IF iniciais podem ser atribuídos à baixa concentração da matéria orgânica inicial (t_0): no campo I, caracterizada pela maior diversidade em sua composição, mas com IF maiores nas bandas associadas a presença de compostos lábeis, do que nas indicativas de matéria orgânica refratária; enquanto no campo II foi caracterizada por baixa expressividade de compostos lábeis e maior teor de matéria orgânica refratária.

TABELA 16 – VARIAÇÃO QUALITATIVA DA MON NA “HORA-ZERO” (t_0) NOS CAMPOS I E II: COMPARATIVO DOS PICOS DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (r.u)

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Campo I	0,512	0,643	0,172	0,140	0,269
Campo II	0,092	0,000	0,000	0,000	0,000

FONTE: A autora (2020).

A variação percentual dos picos de IF, nos tempos t_2 e t_7 dos campos I e II, calculada em relação a “hora-zero” (t_0) segue pormenorizada na TABELA 17. Valores negativos indicam diminuição das IF dos respectivos picos, assim como os percentuais positivos indicam aumento das IF, em relação a amostragem realizada na “hora-zero” (t_0).

TABELA 17 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta IF\%$) NOS TEMPOS t_2 E t_7 EM RELAÇÃO A t_0

	A		B		C		T1		T2	
	t_2	t_7	t_2	t_7	t_2	t_7	t_2	t_7	t_2	t_7
<i>(Campo I)</i>										
0,05 m	-3,20%	-54,80%	208,50%	122,50%	-18,40%	-46,80%	62,80%	24,80%	23,00%	31,70%
0,50 m	-24,50%	-48,90%	265,80%	103,30%	0,00%	-18,60%	82,80%	239,10%	100,40%	49,50%
1,00 m	-15,70%	-48,40%	146,60%	118,00%	2,60%	-28,60%	90,70%	22,30%	3,10%	73,80%
1,50 m	36,40%	-10,30%	400,40%	82,00%	5,50%	-31,60%	96,60%	25,40%	-0,60%	76,20%
2,00 m	16,80%	-46,40%	145,60%	78,10%	0,80%	-30,60%	93,50%	37,50%	21,00%	55,30%
Escuro	3,30%	-44,30%	248,10%	47,40%	-4,40%	-30,80%	98,40%	-10,70%	-13,70%	59,20%
<i>(Campo II)</i>										
0,05 m	142,70%	-100,00%	*	*	*	*	*	*	*	*
0,50 m	389,04%	-100,00%	*	*	*	*	*	*	*	*
1,00 m	284,28%	-100,00%	*	*	*	*	*	*	*	*
1,50 m	-36,14%	**	*	*	*	*	*	*	*	*
2,00 m	519,43%	-100,00%	*	*	*	*	*	*	*	*
Escuro	**	122,43%	**	**	**	**	**	**	**	**

LEGENDA: (*) Amostra não apresentou IF nessa banda na "hora-zero". (**) Cálculo impossibilitado devido à perda/extravio da amostra.

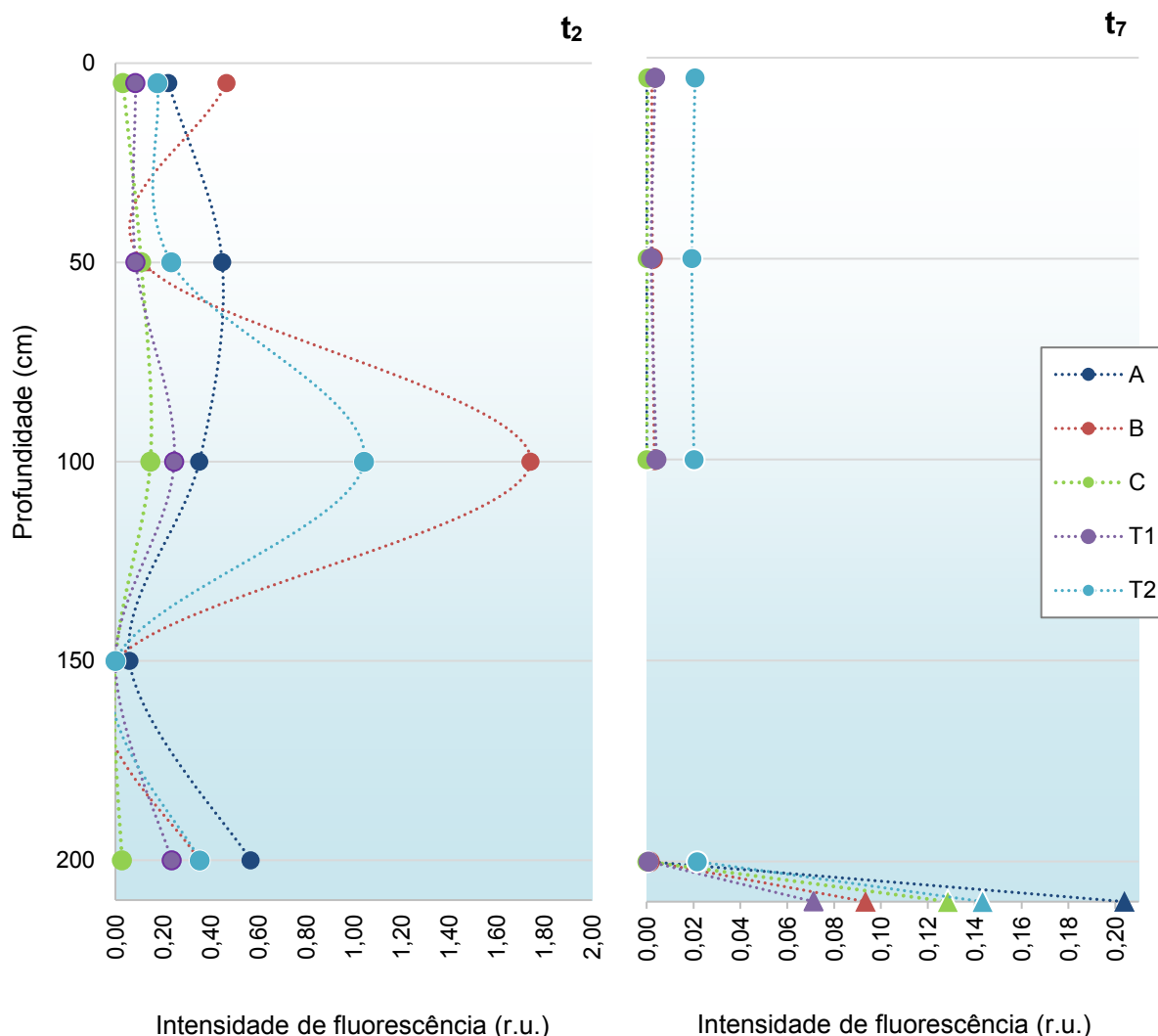
FONTE: A autora (2020).

No final do primeiro período de incubação (t_2) foram observados pequenos aumentos de IF em todas as profundidades, exceto em 1,5 m, onde o pico A sofreu redução de 36,14% da IF verificada para a “hora-zero” (t_0).

Ao final do experimento (t_7), foi observada a degradação completa da matéria orgânica refratária em todos os conjuntos amostrais irradiados. Consequentemente, houve aumento de IF em todas as outras bandas da MEE, associadas à matéria orgânica lábil, indicando a transformação dos compostos mais complexos em compostos com menor peso molecular, mais suscetíveis a mineralização – tanto por ação biológica, quanto pela radiação solar.

O conjunto amostral incubado no escuro, exibiu picos de IF maiores do que na “hora-zero” – aumento de 122,43%. As modificações na matéria orgânica que permitiram tal detecção se devem a atividade biológica e condição de temperatura favorável a degradação da matéria orgânica (FIGURA 31; TABELA 17).

FIGURA 32 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE NOS TEMPOS t_2 E t_7 DE INCUBAÇÃO (CAMPO II)



NOTA: os marcadores triangulares representam o conjunto amostral incubado no escuro (em frascos envolvidos com material fotoprotetor) e os marcadores circulares indicam as amostras expostas à luz.
 FONTE: A autora (2020).

Os valores de IF com do conjunto amostral fotoprottegido com diferença significativa em relação ao conjunto exposto a radiação luminosa situado na profundidade mais próxima, ocorreu apenas ao final do campo II, pois esteve mais ao fundo, ou seja, no campo I, mesmo protegido da luz, a temperatura mais elevada medida à superfície da coluna d'água pode ter atuado como catalizadora da degradação da MON, ao contrário da diferença insignificante entre a fotodegradação e a degradação térmica – decorrente do aquecimento inerente ao simulador solar – observada por Valentine e Zepp (1993). Além disso, neste caso, a ausência de luz prolongada pode provocar severa inibição do fitoplâncton ou sua morte, resultando em mais matéria orgânica para ser degradada sob pouco ou nenhum oxigênio.

TABELA 18 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA MON DISSOLVIDA POR CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO (CAMPO II)

		PICOS				
		A	B	C	T1	T2
1ª retirada (t ₂)	Superfície (0,05 m)	0,2225 d	0,4664 de	0,0320 d	0,0846 d	0,1761 d
	0,50 m	0,4484 d	0,1164 d	0,1081 d	0,0852 d	0,2344 d
	1,00 m	0,3523 d	1,7428 e	0,1467 d	0,2470 d	1,0435 d
	1,50 m	0,0585 d	0,0000 d	0,0000 d	0,0000 d	0,0000 d
	2,00 m	0,5679 d	0,3476 d	0,0272 d	0,2364 d	0,3529 d
2ª retirada (t ₇)	Superfície (0,05 m)	0,0000 f	0,0011 f	0,0000 f	0,0008 f	0,0215 f
	0,50 m	0,0000 f	0,0022 f	0,0005 f	0,0037 f	0,0206 f
	1,00 m	0,0000 f	0,0024 f	0,0002 f	0,0020 f	0,0193 f
	2,00 m	0,0000 f	0,0011 f	0,0000 f	0,0008 f	0,0215 f
	Escuro (2,10 m)	0,0000 g	0,0022 f	0,0005 g	0,0037 f	0,0206 g

LEGENDA: Considerando cada pico (A, B, C, T1 e T2), as intensidades de fluorescência seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

FONTE: A autora (2020).

De modo geral, os espectros apresentaram baixa intensidade, visto que em compostos ricos em matéria orgânica, como efluentes domésticos, lixiviado de aterros sanitários etc., as intensidades emitidas são maiores e, muitas vezes, excedem o limite analítico dos equipamentos empregados, requerendo a diluição das amostras, como os exemplos exibidos na TABELA 19.

TABELA 19 – COMPARAÇÃO DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA (r.u.) EM AMOSTRAS COM DIFERENTES CARGAS ORGÂNICAS E ORIGENS

ORIGEM DA AMOSTRA	COD (mgL)	FATOR DE DILUIÇÃO	PICOS DE IF					REFERÊNCIA
			A	B	C	T1	T2	
Reservatório Passaúna (Captação)	2,6	1	0,51	0,64	0,17	0,14	0,27	abr/19
	2,2		0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	out/19
Esgoto doméstico	53,0	10	10,20	8,20	3,70	5,40	8,90	Baettker (2019)
Esgoto doméstico (80%) + lixiviado de aterro sanitário (20%)	218,5	50	100,50	37,10	48,50	30,70	88,40	
Lixiviado de aterro sanitário	2.700,0	500	1,14	0,37	0,62	0,35	0,81	Baettker et al. (2020)
	7.810,0	500	1,14	0,66	0,59	0,42	0,89	
Rio Palmital	4,1	–	0,91	0,75	0,62	0,30	0,66	Leithold (2017)
Rio Atuba	2,8	–	0,61	0,49	0,42	0,21	0,53	
	19,1	–	2,99	7,30	1,62	2,56	5,94	
Rio Belém	1,9	–	1,63	2,19	1,00	1,12	2,29	
	13,6	–	1,89	2,58	1,08	0,94	2,49	
Rio Barigui	2,5	–	0,44	0,37	0,28	0,22	0,34	
	6,2	–	1,38	1,66	0,89	0,65	1,76	
Rio Iraí	4,0	–	0,82	0,34	0,47	0,15	0,34	
Rio Iguaçu	3,9	–	2,06	2,54	1,16	0,95	2,30	
	8,6	–	1,41	0,62	0,50	0,18	0,39	

FONTE: A autora (2020)

As maiores taxas de degradação da matéria orgânica nas camadas mais à superfície da coluna d'água, se devem em grande parte a fotodegradação, devido ao menor coeficiente de atenuação vertical da radiação solar. Contudo as variações nas IF, das amostras incubadas sem fotoproteção, principalmente os aumentos registrados em 1,0 m (campo II) e 1,5 m (campo I) podem ser relacionados a atividade do nanofitoplâncton remanescente pós filtração, pois de acordo com Esteves (1998), há uma camada da coluna d'água denominada "região de saturação de radiação, na qual são encontradas as melhores condições de luminosidade para a realização da fotossíntese" (p. 149) – onde os limitantes seriam apenas fatores como a presença de predadores, a escassez de nutrientes etc.

O menor decaimento da matéria orgânica verificado nas demais profundidades e a semelhança nas IF destas estão relacionadas, segundo Esteves (1998), tanto à região de limitação da produção primária por escassez de radiação, quanto ao estrato onde a fotossíntese é inibida, principalmente, por quatro processos desencadeados pelo excesso de radiação, sendo eles: a paralisação da cadeia de transporte de elétrons; a fotoxidação dos pigmentos e, em situações extremas, o embranquecimento dos cloroplastos sob a ação da radiação UV; a contração dos cloroplastos e, conseqüente, redução da fluorescência; e o aumento drástico da fotorrespiração.

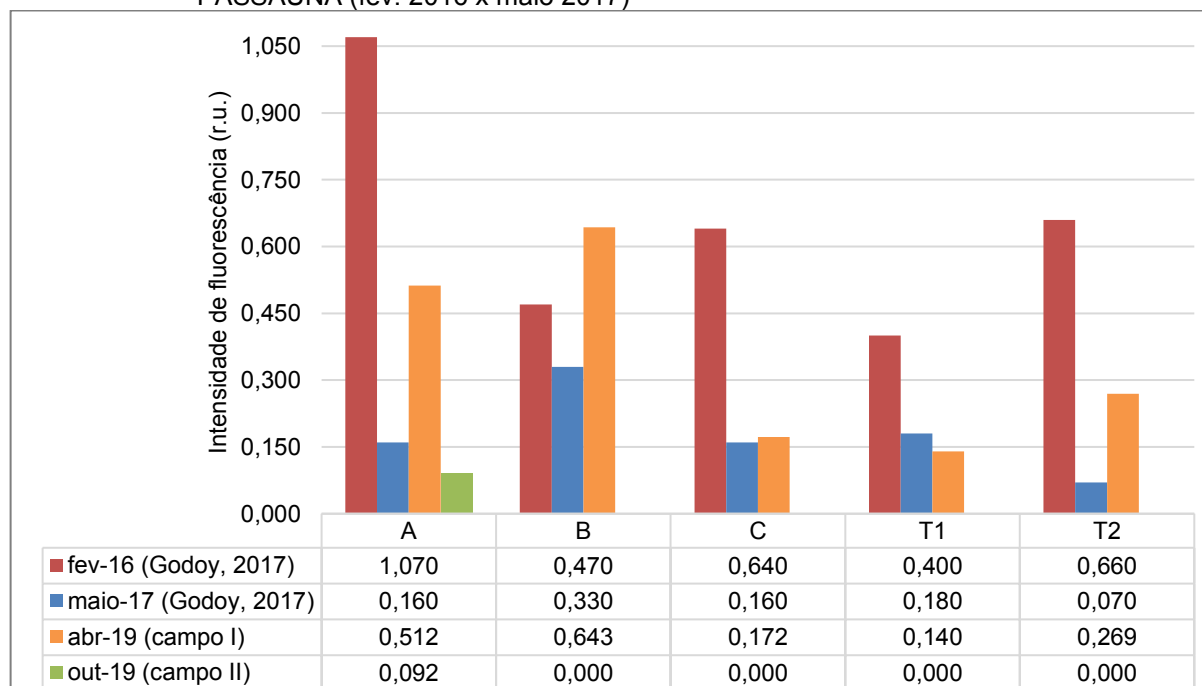
A análise isolada dos resultados do campo I endossa questionamentos sobre a possibilidade da origem dos aumentos de IF decorrerem da interferência do erro inerente ao método analítico, por aspectos de limites de detecção e quantificação, ou até mesmo o erro grosseiro de uma possível contaminação – questões estas que podem estar relacionadas com a vulnerabilidade da amostra pela baixa concentração MON. Entretanto, no campo II a quantidade de radiação solar por tempo de exposição foi maior e o coeficiente de atenuação vertical foi menor, em relação ao campo I, acentuando os fenômenos observados anteriormente e contrariando tais inseguranças e incertezas. Assim como a fotodegradação, no campo II, a identificação da profundidade ótima para biodegradação, também fica mais evidente a partir da diferença de IF das amostras incubadas zona de saturação de radiação e nas regiões de excesso e de escassez de radiação.

Busch (2009) observou, no reservatório do Passaúna, a existência de matéria orgânica recente na região da captação de água para abastecimento público, o que comumente, em águas naturais tem origem em contaminação pontual por efluente

doméstico bruto ou oriundo de estação de tratamento – com remoção pouco eficiente de carga orgânica. Contudo, os dados mais recentes, apresentados neste estudo, indicam a predominância de MOD refratária nas amostras na “hora-zero” e as concentrações de COD, NT, PT e OD demonstram a melhoria da qualidade da água bruta da captação. Caso o aporte de contaminantes orgânicos lábeis tenha persistido à montante, a autodepuração (diversos mecanismos envolvidos nesse processo) do corpo hídrico não permitiu a chegada de tais contaminantes na captação.

Em experimento similar, realizado com amostra da Lagoa dos Patos-MS, Azevedo (2005) verificou maiores taxas de fotodegradação para a MON, do que as observadas para o Passaúna e, também, concentrações de nutrientes e teor de matéria orgânica maiores os registrados para o Passaúna. Godoy (2017) registrou variação sazonal significativa das IF dos picos A, B, C, T1 e T2 ($p=0,03$) para amostragens realizadas na captação em fevereiro de 2016 – no verão – e maio de 2017 – no outono (FIGURA 33).

FIGURA 33 – VARIAÇÃO SAZONAL DOS PICOS DE IF CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DO PASSAÚNA (fev. 2016 x maio 2017)



FONTE: A autora (2020).

As intensidades maiores no pico A, podem estar relacionadas ao crescimento fitoplanctônico mais que se inicia nesse período. As altas temperaturas e maior quantidade de luz solar do verão, podem ter contribuído para a degradação da matéria lábil, resultando em intensidades menores nos picos B, T1 e T2. Já nos meses de

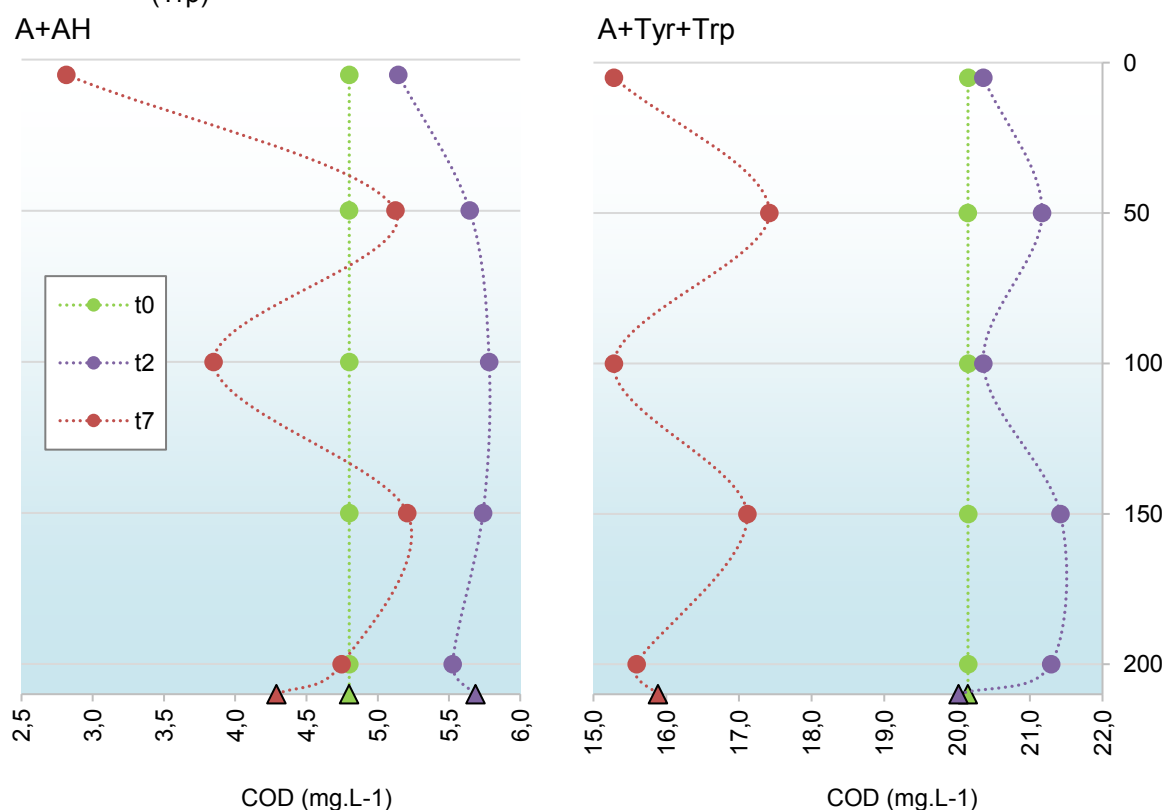
maior e abril, caracterizados por frequentes nevoeiros e céu nublado as maiores intensidades ocorrem no pico B, pertinente à MOD lábil, que podem estar relacionadas a ressuspensão de matéria orgânica durante o turnover de outono.

4.3 EXPERIMENTO II: FOTODEGRADAÇÃO DA MON DISSOLVIDA ENRIQUECIDA

4.3.1 Carbono orgânico dissolvido (COD)

A concentração de COD inicial sofreu acréscimo durante o primeiro período de incubação (t_0 a t_2), em todos os conjuntos amostrais expostos à radiação luminosa e no conjunto amostral fotoprotegido contendo água do reservatório enriquecida com ácido húmico (A+AH). Apenas no conjunto amostral fotoprotegido contendo água do reservatório enriquecida com tirosina e triptofano (A+Tyr+Trp), o COD no t_2 foi inferior à verificada na “hora-zero” (t_0) (FIGURA 34 e TABELA 20). Entretanto, a ANOVA (APÊNDICE D) revelou que somente a variação temporal do COD foi significativa.

FIGURA 34 – VARIAÇÕES TEMPORAL E VERTICAL DO COD NA ÁGUA DO RESERVATÓRIO (A) ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (AH) OU COM TIROSINA (Tyr) E TRIPTOFANO (Trp)



NOTA: Marcadores triangulares indicam as amostras incubadas no escuro e os marcadores circulares indicam as amostras expostas à luz.

FONTE: A autora (2020).

TABELA 20 – VARIAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO (COD) NAS AMOSTRAS DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDAS COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH) OU TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp)

	COD (mgL ⁻¹)			ΔCOD% de t ₂ em relação a t ₀	ΔCOD% de t ₇ em relação a t ₀	ΔCOD% de t ₇ em relação a t ₂
	t ₀	t ₂	t ₇			
<i>(A+AH)</i>						
0,05 m	4,800a	5,145 a	2,814 b	7,19%	-41,38%	-45,31%
0,50 m	4,800a	5,646 a	5,125 a	17,63%	6,77%	-9,23%
1,00 m	4,800a	5,782 a	3,848 b	20,46%	-19,83%	-33,45%
1,50 m	4,800a	5,739 a	5,208 a	19,56%	8,50%	-9,25%
2,00 m	4,800a	5,526 a	4,747 a	15,13%	-1,10%	-14,10%
Escuro	4,800a	5,688 a	4,290 a	18,50%	-10,63%	-24,58%
<i>(A+Tyr+Trp)</i>						
0,05 m	20,150c	20,360 c	15,280 d	1,04%	-24,17%	-24,95%
0,50 m	20,150c	21,170 c	17,420 d	5,06%	-13,55%	-17,71%
1,00 m	20,150c	20,360 c	15,280 d	1,04%	-24,17%	-24,95%
1,50 m	20,150c	21,420 c	17,113 c	6,30%	-15,07%	-20,11%
2,00 m	20,150c	21,290 c	15,590 d	5,66%	-22,63%	-26,77%
Escuro	20,150c	20,020 c	15,890 d	-0,65%	-21,14%	-20,63%

LEGENDA: Considerando cada tempo de incubação (t₀, t₂ e t₇), as intensidades de fluorescência seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Percentuais negativos indicam diminuição da concentração de COD e positivos indicam aumento relação ao valor período de referência.

FONTE: A autora (2020).

4.3.2 Intensidade de fluorescência (IF)

Para ambas as soluções de água do reservatório enriquecida com padrões de MOD, a ANOVA (APÊNDICE D) indicou a diferença significativa ($p<0,05$) entre as IF, tanto em função das condições de incubação (posição na coluna d'água e fotoproteção), quanto entre os picos A, B, C, T1 e T2 indicando a diversidade de constituintes da MON dissolvida e maior expressividade de um composto em detrimento do outro (TABELA 21; TABELA 23).

No tempo t₂, as IF de cada pico – para A+AH – foram similares em todas as profundidades de incubação, exceto em 2,0 m, onde as amostras exibiram os picos de IF mais baixos do período (FIGURA 35 e TABELA 21). A variação percentual média, em relação às demais profundidades foi de 46,22%(±2,84%) no pico A; 27,85%(±14,23%) no pico B; 46,05%(±2,32%) no pico C; 23,80%(±9,59%) no pico T1; e 43,56%(±4,55%) no pico T2. O conjunto fotoprottegido também apresentou os picos A, B, C e T2 expressivamente maiores do que o conjunto amostral irradiado a 2,0 m de profundidade, sendo a variação percentual de cada pico, respectivamente de: 37,34%; 24,68%; 44,49% e 85,69% – a diferença de IF no pico T1 entre tais conjuntos foi de apenas 6,44%.

TABELA 21 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA DA MON ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+AH) POR TEMPO E CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO

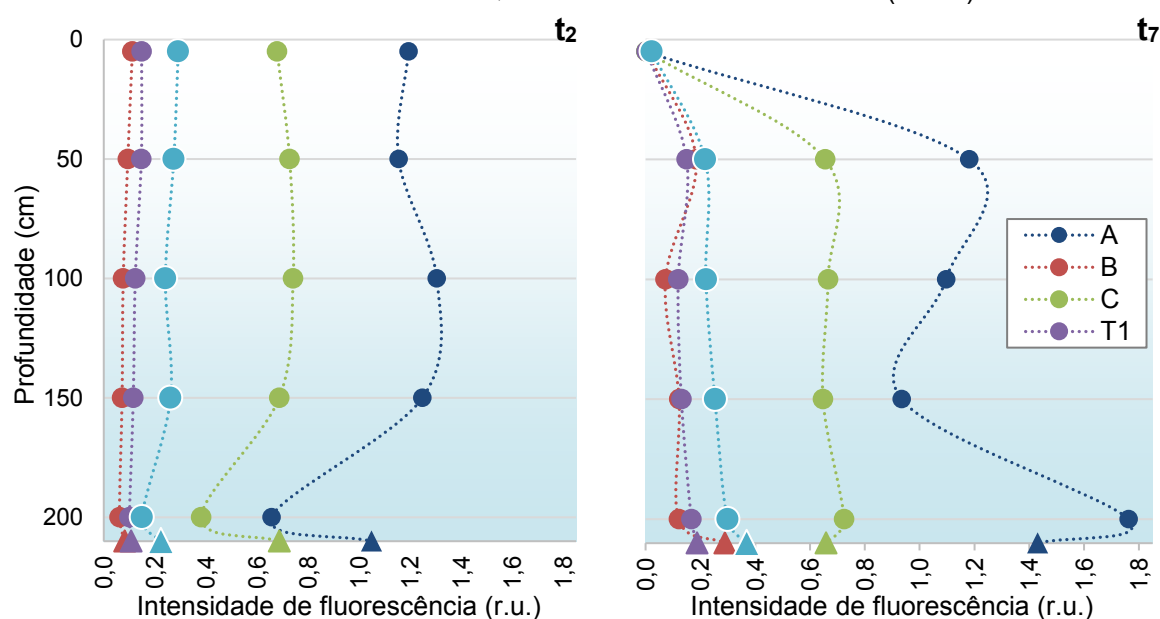
		PICOS				
		A	B	C	T1	T2
1ª retirada (t ₂)	Superfície (0,05 m)	1,194 Dd	0,112 De	0,679 Df	0,148 De	0,292 Def
	0,5 m	1,155 Dd	0,094 De	0,728 Df	0,147 De	0,274 De
	1,0 m	1,304 Dd	0,076 De	0,742 Df	0,123 De	0,241 De
	1,5 m	1,248 Dd	0,072 De	0,687 Df	0,116 De	0,262 De
	2,0 m	0,658 Ed	0,062 De	0,382 Dde	0,101 De	0,150 De
	Escuro (2,10 m)	1,049 DEd	0,082 De	0,688 Dd	0,108 De	0,225 De
2ª retirada (t ₇)	Superfície (0,05 m)	0,000 Fg	0,005 Fg	0,002 Fg	0,003 Fg	0,022 Fg
	0,5 m	1,180 Gg	0,185 Fh	0,655 Fgh	0,150 Fh	0,217 Fgh
	1,0 m	1,096 Gg	0,073 Fh	0,666 Fgh	0,119 Fgh	0,220 Fgh
	1,5 m	0,934 FGg	0,122 Fg	0,647 Fg	0,131 Fg	0,253 Fg
	2,0 m	1,762 Gg	0,121 Fh	0,723 Fh	0,167 Fh	0,298 Fh
	Escuro (2,10 m)	1,431 Gg	0,290 Fh	0,658 Fgh	0,188 Fh	0,369 Fh

LEGENDA: Intensidades de fluorescência seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

FONTE: A autora (2020).

No t₇, a MOD da solução A+AH incubada à superfície foi majoritariamente decomposta – a redução média da IF foi de 97,07%±3,21 em relação a t₂. Nas demais profundidades as variações demonstram a transformação da MOD: em comparação ao tempo t₂, houveram reduções nas IF associadas ao AH nas profundidades de 1,0 e 1,5 m, assim como nas associadas ao ácido fúlvico (AF) em todas as profundidades – exceto nos 2,0 m. Simultaneamente às quedas nas IF dos compostos refratários, podem ser visualizados os acréscimos nas IF dos compostos lábeis (FIGURA 33 e TABELA 22).

FIGURA 35 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH)



NOTA: os marcadores triangulares indicam as amostras incubadas no escuro

FONTE: A autora (2020).

TABELA 22 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta IF\%$) DA MON ENRIQUECIDA POR SOLUÇÃO-PADRÃO DE ÁCIDO HÚMICO (A+AH)

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
<i>($\Delta IF\%$ de t_2 em relação a t_0)</i>					
0,05 m	1185,12%	2139,17%	1537,81%	*	1906,82%
0,50 m	1142,93%	1785,52%	1655,16%	*	1786,86%
1,00 m	1304,03%	1426,23%	1688,67%	*	1559,25%
1,50 m	1243,73%	1335,07%	1556,96%	*	1700,29%
2,00 m	607,81%	1139,23%	821,14%	*	932,56%
Escuro	1029,54%	1545,37%	1559,51%	*	1446,26%
<i>($\Delta IF\%$ de t_7 em relação a t_0)</i>					
0,05 m	-100,00%	7,12%	-95,37%	*	51,75%
0,50 m	1170,40%	3590,03%	1479,63%	*	1393,68%
1,00 m	1079,79%	1350,09%	1505,49%	*	1412,29%
1,50 m	904,99%	2346,84%	1460,61%	*	1641,67%
2,00 m	1796,22%	2317,75%	1644,37%	*	1951,76%
Escuro	1440,04%	5707,10%	1487,77%	*	2438,12%
<i>($\Delta IF\%$ de t_7 em relação a t_2)</i>					
0,05 m	-100,00%	-95,22%	-99,72%	-97,97%	-92,44%
0,50 m	2,21%	95,70%	-10,00%	1,74%	-20,84%
1,00 m	-15,97%	-4,99%	-10,24%	-3,55%	-8,86%
1,50 m	-25,21%	70,50%	-5,81%	12,97%	-3,26%
2,00 m	167,90%	95,10%	89,37%	66,15%	98,71%
Escuro	31,94%	185,86%	-4,38%	54,26%	49,42%

LEGENDA: (*) Amostra não apresentou IF nessa banda na "hora-zero".

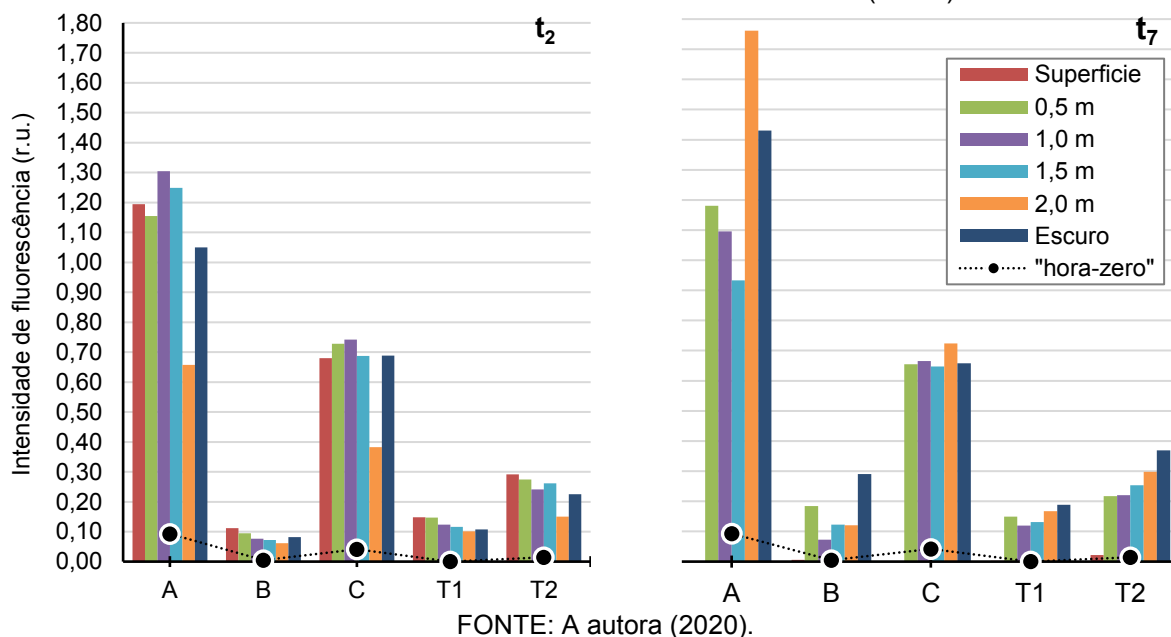
NOTA: Percentuais negativos indicam diminuição da concentração de COD e positivos indicam aumento relação ao valor período de referência.

FONTE: A autora (2020).

Na “hora-zero” (t_0), A+AH não emitiu fluorescência no pico T1, associado ao triptofano e/ou compostos análogos, mas ao final do primeiro período de incubação (t_2) houve emissão de fluorescência no pico T1. Todas as IF dos demais picos foram menores do que as demais emitidos no tempo t_2 . No t_7 , apenas o pico A referente ao conjunto amostral de superfície não exibiu IF maior do que as verificadas no t_0 . (FIGURA 36). Tais variações resultaram das transformações provocadas pela fotodegradação somada a atividade biológica.

Na água do reservatório enriquecida com aminoácidos (A+Tyr+Trp), ácidos fúlvicos e/ou compostos análogos, sinalizados pelo pico C de IF, apresentaram-se com menor expressividade nos tempos t_2 e t_7 sem distinção significativa estatisticamente entre as profundidades de incubação, incluindo o conjunto mantido no escuro. No pico C, exceto pelo conjunto amostral fotoprottegido, as IF são crescentes no mesmo sentido do aumento da profundidade na coluna d’água.

FIGURA 36 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+AH)



Para os demais compostos – identificados pelos picos A, B, T1 e T2 – ocorre ligeira diminuição nas IF das amostras incubadas em 1,5 m possivelmente devido a atividade planctônica sob condições ótimas nessa profundidade, combinada à fotodegradação de MOD refratária fornecendo substratos lábeis. Ao final de ambos os períodos de incubação, a MON dissolvida enriquecida com aminoácidos apresentou as menores IF no conjunto amostral de superfície (FIGURA 35; TABELA 23).

FIGURA 37 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM ÁCIDO HÚMICO (A+Tyr+Trp)

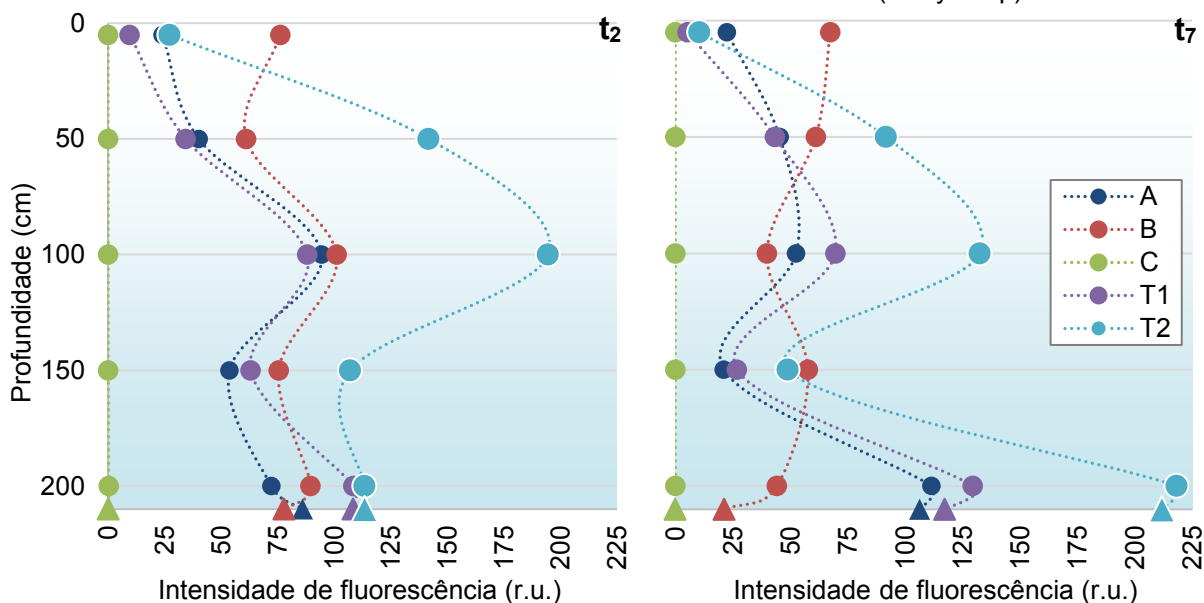


TABELA 23 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA DA MON ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp) POR TEMPO E CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO

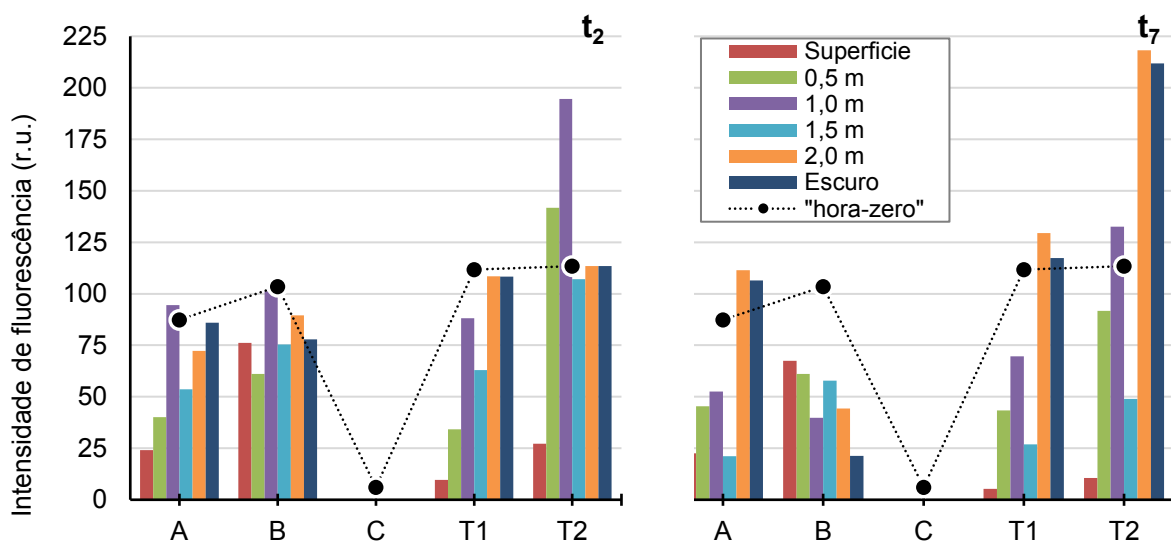
		PICOS				
		A	B	C	T1	T2
1ª retirada (t ₂)	Superfície (0,05 m)	24,065 Dd	76,136 Dd	0,033 Dd	9,577 Dd	27,194 Dd
	0,5 m	40,059 Dde	61,031 Dde	0,043 Dd	34,261 Dde	141,764 DEe
	1,0 m	94,505 Dde	101,112 Dde	0,064 Dd	88,082 Dde	194,583 Ee
	1,5 m	53,665 Dd	75,457 Dd	0,112 Dd	63,019 Dd	107,022 DEd
	2,0 m	72,215 Dde	89,463 Dde	0,305 Dd	108,456 Dde	113,398 DEe
	Escuro (2,10 m)	85,983 Dde	77,792 Dde	0,195 Dd	108,332 Dde	113,452 DEe
2ª retirada (t ₇)	Superfície (0,05 m)	22,538 Ff	67,525 Ff	0,023 Ff	5,351 Ff	10,517 Ff
	0,5 m	45,452 Ff	61,147 Ff	0,036 Ff	43,337 FGf	91,753 Ff
	1,0 m	52,613 Ffg	39,833 Ffg	0,021 Ff	69,648 FGfg	132,618 FHf
	1,5 m	21,086 Ff	57,768 Ff	0,027 Ff	26,851 FGf	48,938 FGf
	2,0 m	111,462 Ffg	44,273 Ffg	0,071 Ff	129,502 Gg	218,198 Hg
	Escuro (2,10 m)	106,424 Ffg	21,332 Ffg	0,018 Ff	117,31 FGg	211,893 Hg

LEGENDA: Intensidades de fluorescência seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

FONTE: A autora (2020).

Na “hora-zero” (t₀), a composição de A+Tyr+Trp apresentou menores IF nos picos C e A, associados a MOD refratária. Ao final do primeiro período de incubação, as IF do pico C diminuíram em quase 100%, ao contrário dos demais picos onde as IF aumentaram (FIGURA 38 e TABELA 24), conforme a transformação da MOD em compostos lábeis por meio da fotodegradação combinada a atividade microbiana. Os aumentos de IF do pico A podem ser relacionados tanto à contribuição da MON dissolvida na água do reservatório, quanto ao que BIANCHINI-Jr (1999) se refere como “etapa intermediária da matéria orgânica entre os processos de decomposição e de mineralização” (p. 7).

FIGURA 38 – PICOS DE INTENSIDADE DE FLOURESCÊNCIA (A, B, C, T1 E T2) DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO ENRIQUECIDA COM TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp)



FONTE: A autora (2020).

TABELA 24 – VARIAÇÃO DOS PICOS A, B, C T1 E T2 DE INTENSIDADE DE FLUORESCÊNCIA ($\Delta IF\%$) DA MON ENRIQUECIDA POR SOLUÇÃO-PADRÃO DE TIROSINA E TRIPTOFANO (A+Tyr+Trp)

	A	B	PICOS C	T1	T2
<i>($\Delta IF\%$ de t_2 em relação a t_0)</i>					
0,05 m	-72,43%	-26,50%	-99,46%	-91,43%	-76,02%
0,50 m	-54,10%	-41,08%	-99,29%	-69,36%	25,01%
1,00 m	8,28%	-2,38%	-98,94%	-21,22%	71,58%
1,50 m	-38,52%	-27,15%	-98,17%	-43,64%	-5,63%
2,00 m	-17,26%	-13,63%	-95,00%	-3,00%	-0,01%
Escuro	-1,49%	-24,90%	-96,80%	-3,11%	0,04%
<i>($\Delta IF\%$ de t_7 em relação a t_0)</i>					
0,05 m	-74,18%	-34,81%	-99,62%	-95,21%	-90,73%
0,50 m	-47,93%	-40,97%	-99,41%	-61,24%	-19,09%
1,00 m	-39,72%	-61,54%	-99,65%	-37,71%	16,94%
1,50 m	-75,84%	-44,23%	-99,56%	-75,99%	-56,85%
2,00 m	27,70%	-57,26%	-98,83%	15,82%	92,41%
Escuro	21,93%	-79,40%	-99,70%	4,91%	86,85%
<i>($\Delta IF\%$ de t_7 em relação a t_2)</i>					
0,05 m	-6,34%	-11,31%	-28,39%	-44,13%	-61,33%
0,50 m	13,46%	0,19%	-17,01%	26,49%	-35,28%
1,00 m	-44,33%	-60,61%	-67,16%	-20,93%	-31,85%
1,50 m	-60,71%	-23,44%	-75,89%	-57,39%	-54,27%
2,00 m	54,35%	-50,51%	-76,62%	19,41%	92,42%
Escuro	23,77%	-72,58%	-90,50%	8,29%	86,77%

FONTE: A autora (2020).

Os resultados obtidos no primeiro experimento I, em abril de 2019, reforçaram a forte dependência da interação equilibrada tanto de agentes microbiológicos, quanto de variáveis abióticos e a dificuldade de identificar isoladamente os pesos de cada componente na ciclagem da matéria. Os resultados obtidos no campo II, sobretudo os referentes à MON enriquecida com soluções-padrão de MOD melhoraram a visibilidade de parte do complexo processo de degradação da matéria orgânica no meio aquático, principalmente em bacias sob forte influência antrópica e vulnerabilidade a perturbações de caráter variado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Relatos sobre a dinâmica da MOD, com ênfase nas reações fotoinduzidas, são recentes e escassos em climas Cfb e Cfa (principalmente no hemisfério-sul), que se caracterizam por frequentes interrupções da luminosidade natural direta e abundante. Por conseguinte, a variabilidade da quantidade de radiação solar disponível, associada às características intrínsecas da MOD, pode influenciar severamente as respectivas taxas de degradação na coluna da água. Cautela é fundamental ao considerar as transformações fotoquímicas isoladamente, essencialmente em águas com baixos teores de matéria orgânica, pois foi demonstrada a viabilidade da degradação natural, sob condição de estrita interdependência entre os processos foto e bioquímicos. Isso destaca a necessidade de conservar as melhores condições possíveis à manutenção do funcionamento saudável da autodepuração de sistemas aquáticos e ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes, principalmente em sistemas complexos como os reservatórios.

Ampliar os teores da MOD em nível experimental, favoreceu a visualização de parte do complexo processo de degradação da MOD, demonstrando a viabilidade de se estimar a resposta de ambientes pobres em nutrientes e matéria orgânica às possíveis – mas indesejáveis – incrementos no aporte alóctone decorrente de ações antrópicas, visto à proximidade com áreas urbanas, agrícolas e importantes vias do sistema rodoviário. Diante disto, é possível concluir que para maiores taxas de degradação, em águas com carga orgânica elevada, em reservatórios localizados em regiões de clima temperado úmido, ou oceânico temperado, é necessário maior tempo de exposição à radiação solar, considerando também a contribuição dos demais fatores condicionantes à fotólise da MOD. Se conhecidas e respeitadas as particularidades do reservatório, a contribuição da fotodegradação da MOD para a qualidade da água de reservatórios de abastecimento público é satisfatória mesmo em localidades sem definição precisa entre estação seca e chuvosa, isto é, com muitos dias nublados e chuvosos ao longo do ano.

A aplicação de técnicas espectroscópicas, de absorbância em comprimentos de onda da faixa UV-Vis e de excitação e emissão de fluorescência, é uma ótima ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, pois apesar deste estudo ter utilizado de equipamentos residentes nos laboratórios, vários dos trabalhos consultados relatam o uso de fluorímetros e fotômetros portáteis, dentre outros tipos de sensores

para medições de outras variáveis *in situ* – alguns destes, similares ao sistema de monitoramento de parâmetros associados à qualidade, usualmente monitorados, já implementados na captação do Reservatório do Passaúna e de diversos outros reservatórios.

A pesquisa desenvolvida até o presente momento, traz um ponto de vista complementar sobre a dinâmica da MOD no reservatório no local que atualmente pode ser considerado o de maior relevância – afinal, sua finalidade mais essencial é o suprimento de água para a população. Sendo assim, as respostas satisfatórias obtidas neste estudo, fazem promissores estudos futuros com o enfoque nas demais facetas da matéria orgânica aquática e suas transformações fotoquímicas à montante e à jusante da região da captação (em outros pontos usuais de amostragem reservatório principal, no pré-reservatório e em pontos críticos da seção fluvial), bem como avaliar biodisponibilidade dos fotoprodutos da MON do reservatório do Passaúna para a comunidade microbiana.

REFERÊNCIAS

ADLOFF, C. T.; BEM, C. C.; REICHERT, G.; AZEVEDO, J. C. R. Analysis of the phytoplankton community emphasizing cyanobacteria in four cascade reservoirs system of the Iguazu River, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 23, e6, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312018000100203&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jul. 2020. DOI: 10.1590/2318-0331.0318170050.

ALCÂNTARA, E.; OGASHAWARA, I.; CURTARELLI, M. P.; NASCIMENTO, R.; KAMPEL, M.; STECH, J. Avaliação do QAA (Quasi-Analytical Algorithm) na estimativa do coeficiente de absorção total (at) da água do reservatório de Itumbiara (GO). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p. 239-246.

ALEGRIA, A.; SOUSA, I. J. de; ALMEIDA-SANTOS, S.; CAVACO, M. A.; COIMBRA, M. de F.; CRUZ, V.; HESPANHOL, I.; MATEUS, I. SANTOS, E. P. Trihalometanos - análise da situação em Portugal. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 4., 1998, Lisboa. **Anais eletrônicos...** Lisboa: APRH, 1988. p. 1-15. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/065.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

ALVES, W. S.; SILVA, T. I.; MARROM, D. A.; SANTOS, T. M. S.; SANTOS, H. R. Avaliação da qualidade da água do abastecimento público do município de Juazeiro do Norte, CE. **Revista Desafios**, v. 4, n. 2, 2017. DOI: 10.20873/uft.2359-3652.2017v4n2p112.

AMARAL, J. H. F. **Fotodegradação e degradação microbiana da matéria orgânica dissolvida no baixo Rio Negro, Amazônia Central**. Manaus: [S.n.], 2010. xii, 67 f. : il. color. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior do convênio INPA/UFAM – INPA, Manaus, 2010.

AMON, R. M. W.; BENNER, R. Photochemical and microbial consumption of dissolved organic carbon and dissolved oxygen in the Amazon River system. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 60, n.10, p. 1783-1792, 1996. DOI:10.1016/0016-7037(96)00055-5.

ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A.I.; ANDREOLI, F.N. Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da região metropolitana de Curitiba - RMC. **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**, v. 12, n. 12, jul./dez.1999. Disponível em: <<http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/V12/Mananciais/mananciais.html>>. Acesso em 08 jul. 2020.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Baltimore: APHA, 1999. 1220 p. ISBN: 978-0875532356.

ARANTES, A. G. S. **Avaliação da qualidade da água e do sedimento no reservatório de abastecimento público do ribeirão João Leite – GO**. 2017. 184 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

ARENZ-Jr, R. F.; LEWIS-Jr, W. M.; SAUNDERS-III, J. F. Determination of chlorophyll and dissolved organic carbon from reflectance data for Colorado reservoirs. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 8, p. 1547-1565, 1996. DOI: 10.1080/01431169608948723.

AUSTRALIAN. **Climate classification maps**, Bureau of Meteorology. [S.l.], nov. 2016. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate_averages/climate-classifications/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

AZEVEDO, J. C. R. **Estudo biogeoquímico da lagoa dos Patos-MS, pertencente a planície de inundação do alto rio Paraná**. 2005. 195 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais – Programa de Pós-Graduação Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

AZEVEDO, J. C. R.; NOZAKI, J. Análise de fluorescência de substâncias húmicas extraídas da água, solo e sedimento da Lagoa dos Patos-MS. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1324-1329, 2008. DOI: 10.1590/S0100-40422008000600010.

BACKLUND, P. Degradation of aquatic humic material by ultraviolet light. **Chemosphere**, v. 25, n. 12, p. 1869-1878, 1992. DOI: 10.1016/0045-6535(92)90026-N.

BADR, E. A. Spatio-temporal variability of dissolved organic nitrogen (DON), carbon (DOC), and nutrients in the Nile River, Egypt. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, n. 10, p. 1-15, 2016. DOI: 10.1007/s10661-016-5588-5.

BAETTKER, E. C. **Avaliação da tratabilidade de lixiviado de aterro sanitário combinado com esgoto sanitário em reator anaeróbio tipo UASB**. 2019. 217 f. Tese (Doutorado) – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BAETTKER, E. C.; KOZAK, C.; KNAPIK, H. G.; AISSE, M. M. Applicability of conventional and non-conventional parameters for municipal landfill leachate characterization, **Chemosphere**, v. 251, 126414, 2020. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126414.

BANO, N.; MORAN, M. A.; HODSON, R. E. Photochemical formation of labile organic matter from two components of dissolved organic carbon in a freshwater wetland. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 16, p.95-102, 1998. DOI:10.3354/ame016095.

BASSO, E. R.; CARVALHO, S. L. Avaliação da qualidade da água em duas represas e uma lagoa no município de Ilha Solteira (SP). **HOLOS Environment**, v. 7, n. 1, p. 16-29, 2007. DOI: 10.14295/holos.v7i1.970.

BEM, C. C.; KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO, J. C. R. Características da matéria orgânica: estudo comparativo de padrões de espectrometria de fluorescência e UV-Vis de rio e lago em bacias urbanizadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, p. 135-147, 2013. DOI: 10.21168/rbrh.v18n1.p135-147.

BENEDETTI, S. **Avaliação do teor de carbono orgânico total na qualidade da água**: aplicação na radiofarmácia. 2012. 107 P. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, São Paulo, 2012.

BENNER, R.; BIDDANDA, B. Photochemical transformations of surface and deep marine dissolved organic matter: Effects on bacterial growth. **Limnology and Oceanography**, v. 43, p. 1373-1378, 1998.

BERTILSSON, S.; STEPANAUSKAS, R.; CUADROS-HANSSON, R.; GRANÉLI, W.; WIKNER, J.; TRANVIK, L. Photochemically induced changes in bioavailable carbon and nitrogen pools in a boreal watershed. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 19, p. 47-56, 1999. DOI:10.3354/ame019047.

BERTILSSON, S.; TRANVIK, L. J. Photochemical Transformation of Dissolved Organic Matter in Lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 4, p. 753-762, 2000.

BIANCHINI-JR, I. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. 20 p. In: POMPEO, M. L. M. (ed.) **Perspectivas da Limnologia no Brasil**. São Luís: Gráfica e Editora União, 1999, 198 p. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=34&limit=5&limitstart=0&order=hits&dir=DESC&Itemid=426>. Acesso em: 10 fev. 2020.

BLENINGER, T. B. (Coord.). **Mudak - Multidisciplinary Data Acquisition as a Key for a globally applicable Water Resource Management**. Projeto de pesquisa. Certificado em: 02 out. 2018. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/5131189316971564>>. Acesso em 14 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 6902, de 27 de abril de 1981. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 abr. 1981. Seção 1, p. 1. Disponível em <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-federal/leis/1981&item=lei-6.902não-1981&export=pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

———. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Ministério da Saúde, 2007. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em 22 out. 2020.

———. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58.

———. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde**, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde). ISBN 85-334-1240-1.

BUSCA por “carvão”. In: Bíblia Online. Nova Versão Internacional. Disponível em: <<https://www.bibliaonline.com.br/nvi/busca?q=carvão>>. Acesso em: 14 set. 2020a.

———. In: ———. Nova Versão Transformada. Disponível em: <<https://www.bibliaonline.com.br/nvt/busca?q=carvão>>. Acesso em: 14 set. 2020b.

———. In: ———. O livro. Disponível em: <<https://www.bibliaonline.com.br/ol/busca?q=carvão>>. Acesso em: 14 set. 2020c.

———. In: ———. Sociedade Bíblica Britânica. Disponível em: <<https://www.bibliaonline.com.br/tb/busca?q=carvão>>. Acesso em: 14 set. 2020d.

BUSCH, O. M. S. **Qualidade da água e saúde humana: riscos potenciais face ao processo de ocupação urbana no entorno da represa do Passaúna – Curitiba-PR**. 2009. 261 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BUSHAW-NEWTON, K. L.; MORAN, M. A. Photochemical formation of biologically available nitrogen from dissolved humic substances in coastal marine systems. **Aquatic microbial ecology**, v. 18, n. 3, p. 285-292, 1999. DOI:10.3354/ame018285.

CARLSON, R. E.; A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977. DOI:10.4319/lo.1977.22.2.0361.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, 2012. ISSN 1806-9657. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n4/15.pdf>>. Acesso em 11 fev. 2020. DOI: 10.1590/S0100-06832012000400015.

CARVALHO, M. C.; AGUJARO, L. F.; PIRES, D. A.; PICOLI, C. **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013. 47 p. ISBN 978-85-61405-46-5.

CAVALLINI, G. S.; ARAUJO, D. L. B. S.; LIMA, J. G. F. Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS). **Desafios – Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, n. 5 (Especial), p. 66-73, 2018. DOI: 10.20873/uf.2359-3652.2018v5nEspecialp66.

CAWLEY, K. M.; WOLSKI, P.; MLADENOV, N.; JAFFÉ, R. Dissolved Organic Matter Biogeochemistry Along a Transect of the Okavango Delta, Botswana. **Wetlands**, v. 32, p. 475-486, 2012. DOI: 10.1007/s13157-012-0281-0.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mortandade de peixes**: Amônia. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/contaminantes/amonia/#:~:text=A%20am%C3%B4nia%20%C3%A9%20um%20t%C3%B3xico,podem%20ser%20t%C3%B3xicos%20aos%20peixes.&text=O%20%C3%ADon%20am%C3%B4nio%20n%C3%A3o%20%C3%A9,n%C3%A3o%20ionizada%20tem%20efeito%20t%C3%B3xico.>>. Acesso em: 18 set. 2020.

CHEN, M.; HE, W.; CHOI, I.; HUR, J. Tracking the monthly changes of dissolved organic matter composition in a newly constructed reservoir and its tributaries during the initial impounding period. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 2, p. 1274-1283, 2015. DOI: 10.1007/s11356-015-5350-5.

CHRÓST, R.; FAUST, M. A. Consequences of solar radiation on bacterial secondary production and growth rates in subtropical coastal water (Atlantic Coral Reef off Belize, Central America). **Aquatic Microbial Ecology**, v. 20, p. 39-48, 1999. DOI: 10.3354/ame020039.

CLEMENTINO, M. R. A.; ROLIM-NETO, P. J.; ALENCAR, J. R. B. Carbono orgânico total: metodologia analítica e aplicações para indústria farmacêutica. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 89, n. 1, p. 74-80.

CLIMATE-DATA.ORG. Climate data for cities worldwide. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

COBLE, P. G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. **Marine Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 325-346, 1996. DOI: 10.1016/0304-4203(95)00062-3.

COQUEMALA, V. **Variação anual do fitoplâncton no reservatório Passaúna, Paraná**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor Ciências Biológicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COSGROVE, W.; RIJSBERMAN, F. R. **World water vision: making water everybody's business**. London: Earthscan from Routledge, 2014. ISBN 978-1-85383-730-2.

COSTA, J. A. S.; SANTOS, J. M.; SANTOS, L. O.; BELLIN, I. C. Extração e caracterização de substâncias húmicas aquáticas (SHA) extraídas de amostras coletadas no parque nacional serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 12, n. 3, p. 07-23, 2018. DOI: 10.18316/rca.v12i3.2527.

CUNHA, N. T.; YUNES, J. S.; COSTA, A. H. R.; PROENÇA, L. A. O. Registro de toxinas paralisantes produzidas por *Cylindrospermopsis raciborskii* na região sul do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2., 2003. Itajaí, Santa Catarina. **Anais...** Itajaí, 2003.

CRC-WQT – THE COOPERATIVE RESEARCH CENTRE FOR WATER QUALITY AND TREATMENT. **Natural Organic Matter: Understanding and Controlling the Impact on Water Quality and Water Treatment Processes - Management implications from the Research Programs of the Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment**. Salisbury: CRC Australia, 2005. ISBN 187661644X.

D'AGUILA, P. S.; ROQUE, O. C. C.; MIRANDA, C. A. S.; FERREIRA, A. P. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, n. 3, p. 791-798, 2000. DOI: 10.1590/S0102-311X2000000300027.

DAVIES, S; VIÇOSA, J. A.; HOELZEL, S. C. Avaliação biológica e toxicológica de nanotubos de carbono. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências da Saúde, v. 10, n. 1, p. 11-17, 2009. ISSN 1982-2111.

DEQUI-UFRGS – Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Analisador de carbono orgânico total de líquidos: análise de carbono orgânico total (TOC). Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/dequi-labs/central-analitica/analizador-de-carbono-organico-total-de-liquidos/>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

DIAS, L. N. **Estudo integrado da bacia hidrográfica do reservatório Passaúna (Araucária - Paraná - Brasil), considerando a interrelação da ocupação dos solos com a qualidade das águas**. 1997. xv + 141 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1997.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. ISBN 857193-008-2.

FERREIRA, R. M. P. **Caracterização da ótica e do carbono orgânico dissolvido no reservatório de Três Marias/MG**. 2014. xviii + 108 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

FINDLAY, S.; QUINN, J. M.; HICKEY, C. W.; BURRELL, G.; DOWNES, M. Effects of land use and riparian flowpath on delivery of dissolved organic carbon to streams. **Limnology and Oceanography**, v. 46, n. 2, p. 345-355, 2001. DOI:10.4319/lo.2001.46.2.0345.

FOLLMER, D. L. S.; BISOGNIN, R. P.; SOUZA, E. L.; VASCONCELOS, M. C.; GUERRA, D.; SILVA, D. M. Construção e eficiência de um fotorreator de radiação ultravioleta de baixo custo para desinfecção de água. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v.8, n. 4, 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e42019165-181.

FURTADO, M. Desinfecção – alternativas ao cloro melhoram qualidade da água, com segurança. **Revista Química e Derivados** (Portal da), 2011. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/desinfeccao-alternativas-ao-cloro-melhoram-qualidade-da-agua-com-seguranca/>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

GARZON, C. E. **Water quality in hydroelectric projects: considerations for planning in tropical forest regions**. World Bank technical paper n. 20. Washington, DC: The World Bank, 33 p., 1984. ISBN 0-8213-0363-5.

GELLER, A. Comparison of mechanisms enhancing biodegradability of refractory lake water constituents. **Limnology and Oceanography**, v. 31, n. 4, p. 755-764, 1986. DOI: 10.4319/lo.1986.31.4.0755.

GODOY, R. F. B. **Dinâmica da qualidade da água em reservatórios de abastecimento público: estudo de caso do Passaúna - PR**. 2017. 181 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GONZAGA, C. A. M.; WANDEMBRUCK, A.; SEGER, C. D.; BIONDI, D. Análise paisagística da trilha recreativa do Parque Municipal do Passaúna, Curitiba, Paraná. **Cadernos da Biodiversidade**, v. 4, n. 2, 2004. ISSN 1415-9112.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 13 abr. 2020.

GOULART, F. A. B. **Contaminantes emergentes em um país emergente**: estudo de caso no rio Barigui. 2017. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

HEIBATI, M.; STEDMON, C. A.; STENROTH, K.; RAUCH, S.; TOLJANDER, J.; SÄVE-SÖDERBERGH, M.; MURPHY, K. R. Assessment of drinking water quality at the tap using fluorescence spectroscopy. **Water Research**, v. 125, n. 15, p. 1-10, 2017. DOI: 10.1016/j.watres.2017.08.020.

HESTIR, E. L.; BRANDO, V.; CAMPBELL, G.; DEKKER, A.; MALTHUS, T. The relationship between dissolved organic matter absorption and dissolved organic carbon in reservoirs along a temperate to tropical gradient. **Remote Sensing of Environment**, v. 156, p. 395-402, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2014.09.022.

HISOUR – HI SO YOU ARE. **Carvão vegetal na arte**: material objeto. Disponível em: <<https://www.hisour.com/pt/charcoal-in-art-17762/>>. Acesso em: 14 set. 2020.

HUDSON, N.; BAKER, A.; REYNOLDS, D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter innatural, waste and polluted waters — a review. **River Research and Applications**, v. 23, p. 631-649, 2007. DOI: 10.1002/rra.1005.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Classificação climática**. Londrina, [20--?]. 1 mapa, color. Escala 1: 3.000.000. Altura: 1042 pixels. Largura: 1473 pixels. 213 Kb. Formato JPG. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/cartas_climaticas/class_climatica/koppen_nova.jpg>. Acesso em: 08 jul. 2020.

IAVORIVSKA, L; BOYER, E. W.; DEWALLE, R. Atmospheric deposition of organic carbon via precipitation. **Atmospheric Environment**, v. 146, p. 153-163, 2016. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.06.006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. – Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e gestão, 2010. ISBN 978-85-240-4136-5.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **A807.jpg**. 2019. Altura: 450 pixels. Largura: 600 pixels. 6.09 Mb. Formato JPEG. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/fotos/A807.jpg>>. Acesso em: 20 out 2019b.

———. **Consulta dados da estação automática: A807 Curitiba (PR)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwNw=>>. Acesso em: 20 out 2019a.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Calculadora geográfica**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/calcula/>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

IT-UFRRJ – INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. **Temperatura da água**. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/insttutos/it/de/acidentes/tem.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

JØRGENSEN, N. O. G.; TRANVIK, L.; EDLING, H.; GRANÉLI, W.; LINDELL, M. Effects of sunlight on occurrence and bacterial turnover of specific carbon and nitrogen compounds in lake water. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 25, n. 3, p. 217-227, 1998. DOI:10.1111/j.1574-6941.1998.tb00474.x.

KIEBER, D. J.; MOPPER, K. Photochemical formation of glyoxylic and pyruvic acids in seawater. **Marine Chemistry**, v. 21, n. 2, p. 135-149, 1987. DOI: 10.1016/0304-4203(87)90034-X.

KIM, B.; CHOI, K.; KIM, C.; LEE, U.H.; KIM, Y. H. Effects of the summer monsoon on the distribution and loading of organic carbon in a deep reservoir, Lake Soyang, Korea. **Water Research**, v. 34, n. 14, p. 3495-3504, 2000. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00104-4.

KNAPIK, H. G. **Organic matter characterization and modeling in polluted rivers for water quality planning and management**. 2014. 281 f. Thesis (Doctor – Technology Sector, Program of Water Resources and Environmental Engineering) – Federal University of Paraná, Curitiba, 2014.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R. Aplicabilidade de técnicas de espectroscopia e da concentração de carbono orgânico dissolvido na caracterização da matéria orgânica em rios urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 214-225, 2014. DOI: 10.21168/rbrh.v19n4.p214-225.

KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R.; SANTOS, M. M.; DALL'AGNOL, P.; FONTANE, D. G. Biodegradability of anthropogenic organic matter in polluted rivers using fluorescence, UV, and BDOC measurements. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 104, n. 3, 15 p., 2015. DOI: 10.1007/s10661-015-4266-3.

KÖPPEN, W. Das geographische system der klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Borntraeger, 1936. p.1-44.

KOTTEK, M.; GRIESSER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

KOZAK, C.; LEITHOLD, J.; AZEVEDO, J. C. R.; FERNANDES, C. V. S. feemc-10x5.py. Fluorescence Excitation-Emission Matrix Code - FEEMC 2.0. Curitiba: [S.n.], 2019. Programa de computador sem registro.

LAGANARO, R. A.; ARNESEN, A. S.; PERRUCCI, E. C.; CAMERA, S. G. Matriz de emissão e excitação de fluorescência para caracterização da matéria orgânica na água de sistemas de abastecimento público. In: CONGRESSO ABES-FENASAN, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABES, 2017. p. 1-10. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/10/I-185.pdf>>.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 235 p. + anexos. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – Departamento de Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LARTIGUE, C.; NEGRETE, A.; VELASCO, E.; VILLARREAL, F. G. Photocomic narratives as a means to communicate scientific information about use, treatment and conservation of water. **Modern Environmental Science and Engineering**, v. 2, n. 12, p. 800-808, 2016. DOI: 10.15341/mese(2333-2581)/12.02.2016/006.

LEAL, J. F.; ESTEVES, V. I.; SANTOS, E. B. H. Does light-screening by humic substances completely explain their retardation effect on contaminants photo-degradation? **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, p. 3015-3019, 2015. DOI: 10.1016/j.jece.2014.12.025.

———. Solar photodegradation of oxytetracycline in brackish aquaculture water: new insights about effects of Ca^{2+} and Mg^{2+} . **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 372, p. 218-225, 2019. DOI: 10.1016/j.jphotochem.2018.12.022.

———. Use of sunlight to degrade oxytetracycline in marine aquaculture's waters. **Environmental Pollution**, v. 213, p. 932-939, 2016. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.03.040.

LEAL, J. F.; HENRIQUES, I.S.; CORREIA, A.; SANTOS, E. B. H.; ESTEVES, V. I. Antibacterial activity of oxytetracycline photoproducts in marine aquaculture's water. **Environmental Pollution**, v. 220, p. 644-649, 2017. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.10.021.

LEENHEER, J. A. Chemistry of dissolved organic matter in river, lakes, and reservoirs. In: BAKER, L. A. (Ed.) **Environmental chemistry of lakes and reservoirs**. Washington, DC: American Chemical Society, 1994. p. 195-221. ISBN 0-8412-2526-5.

LEITHOLD, J. **Variabilidade espacial e temporal da matéria orgânica no ecossistema aquático nas bacias hidrográficas do alto e médio Iguaçu**. 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LIMA, L. S. M. S.; ALMEIDA, R.; QUINTAES, B. R.; BILA, D. M.; CAMPOS, J. C. Análise de metodologias de quantificação de substâncias húmicas em lixiviados de aterros de resíduos sólidos. **Revista ambiente e Água**, v. 12, n. 1, p. 87-98, 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.1972.

LINDELL, M. J.; GRANÉLI, W.; TRANVIK, L. J. Effects of sunlight on bacterial growth in lakes of different humic content. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 11, p.135-141, 1996. DOI: 10.3354/ame011135.

———. Enhanced bacterial growth in response to photochemical transformation of dissolved organic matter. **Limnology and Oceanography**, v. 40, n. 1, p. 195-199, 1995. DOI:10.4319/lo.1995.40.1.0195.

MACHADO, A. F. **Evaluation of the operational efficiency of Areias de Vilar water treatment plant after modification of the treatment line**. 2019. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade do Minho, Braga, 2019.

MALCOLM, R. L. The uniqueness of humic substances in each of soil, stream and marine environments. **Analytica Chimica Acta**, v. 232, p. 19-30, 1990. DOI:10.1016/s0003-2670(00)81222-2.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry**. 7th ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2000. ISBN 1-56670-492-8.

MANNICH, M.; RESENDE, J. F.; FERNANDES, C. V. S.; BERNARDO, J. W. Y.; ZAHN, E.; BLENINGER, T. CICLAR: 0D Model for Carbon Dynamics in Lakes and Reservoirs. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 237-248, 2015. DOI: 10.21168/rbrh.v20n1.p237-248.

MARCANTE, L. J. O.; IDE, A. H.; FILIPPE, T. C.; AZEVEDO, J. C. R. Reservatório de Foz do Areia, Brasil: Aspectos físicos, químicos e cianotoxinas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 24-40, 2018. DOI: 10.6008/CBPC2 179-6858.2018.004.0003.

MARINHO, R. R.; MARTINEZ, J. M.; FILIZOLA-JR, N. P. Comportamento espectral do rio Negro, Amazonas – Brazil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** Campinas: Galoá, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/comportamento-espectral-do-rio-negro--amazonas-----brazil>> Acesso em: 06 set. 2019.

MASH, H.; WESTERHOFF, P. K.; BAKER, L. A.; NIEMAN, R. A.; NGUYEN, M. Dissolved organic matter in Arizona reservoirs: assessment of carbonaceous sources. **Organic Geochemistry**, v. 35, p. 831-843, 2004.

McKNIGHT, D. M.; BOYER, E. W.; WESTERHOFF, P. K.; DORAN, P. T.; KULBE, T.; ANDERSEN, D. T. Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor, organic material and aromaticity. **Limnology Oceanography**, v. 46, n.1, p. 38-48, 2001.

MENDES, N. A. S. **As usinas hidrelétricas e seus impactos: os aspectos socioambientais e econômicos do Reassentamento Rural de Rosana - Euclides da Cunha Paulista.** 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005.

MEYER, S. T. O Chlorine Use in Water Disinfection, Trihalomethane Formation, and Potential Risks to Public Health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.

MICHAELIS. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos. Disponível em <<https://michaelis.uol.com.br>>. Acesso em: 05 set. 2019.

MILLER, W. L.; MORAN, M. A. Interaction of photochemical and microbial processes in the degradation of refractory dissolved organic matter from a coastal marine environment. **Limnology and Oceanography**, v. 42, p. 1317-1324, 1997. DOI: 10.4319/lo.1997.42.6.1317.

MOBED, J. J.; HEMMINGSEN, S. L.; AUTRY, J. L.; MCGOWN, L. B. Fluorescence Characterization of IHSS Humic Substances: Total Luminescence Spectra with Absorbance Correction. **Environmental Science & Technology**, v. 30, n. 10, p. 3061-3065, 1996. DOI:10.1021/es960132l.

MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; MELO-FILHO, L. C. Pre-treatment with chlorine and ozone for removal of the cyanobacteria. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 4, 337-342, 2006. DOI: 10.1590/S1413-41522006000400006.

MOPPER, K.; STAHOVEC, W. L. Sources and sinks of low molecular weight organic carbonyl compounds in seawater. **Marine Chemistry**, v. 19, n. 4, p. 305-321, 1986.

MORAN, M. A., SHELDON-JR, W. M.; SHELDON, J. E. Biodegradation of Riverine Dissolved Organic Carbon in Five Estuaries of the Southeastern United States. **Estuaries**, v. 22, n.1, 55, 1999. DOI:10.2307/1352927.

MORAN, M. A., SHELDON-JR, W. M.; ZEPP, R. G. Carbon loss and optical property changes during long-term photochemical and biological degradation of estuarine dissolved organic matter. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 6, p. 1254-1264, 2000. DOI:10.4319/lo.2000.45.6.1254.

MORAN, M. A.; COVERT, J. S. Photochemically mediated linkages between dissolved organic matter and bacterioplankton. In: FINDLAY, S. E. G.; SINSABAUGH, R. L. (Eds.). **Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter**. San Diego: Academic Press, 2002, p. 243-262. ISBN: 0-12-256371-9.

MORLING, K.; HERZSPRUNG, P.; KAMJUNKE, N. Discharge determines production of, decomposition of and quality changes in dissolved organic carbon in pre-dams of drinking water reservoirs. **Science of The Total Environment**, v. 577, p. 329-339, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.192.

MORTATTI, J.; OLIVEIRA, H.; BIBIAN, J. P.; LOPES, R. A.; BONASSI, J. A.; PROBST, J. L. Origem do carbono inorgânico dissolvido no rio Tietê (São Paulo): reações de equilíbrio e variabilidade temporal. **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 3, p. 267-277, 2006.

MOSTOFA, K. M. G.; LIU, C.; MOTTALEB, M. A.; WAN, G.; OGAWA, H.; VIONE, D.; YOSHIOKA, T.; WU, F. Dissolved Organic Matter in Natural Waters. In: MOSTOFA, K. M. G.; YOSHIOKA, T.; MOTTALEB, M. A.; VIONE, D. (Eds). **Photobiogeochemistry of Organic Matter: Principles and Practices in Water Environments**. Environmental Science and Engineering, Springer-Verlag Berlin. p. 1-138, 2013a. ISBN: 978-3-642-32223-5.

MOSTOFA, K. M. G.; YOSHIOKA, T.; KONOHIRA, E.; TANOUE, E. Photodegradation of fluorescent dissolved organic matter in river waters. **Geochemical Journal**, v. 41, p. 323-331, 2007.

MOSTOFA, K.M.G.; LIU, C.; MINAKATA, D.; WU, F.; VIONE, D.; MOTTALEB, M.A.; YOSHIOKA, T.; SAKUGAWA, H. Photoinduced and Microbial Degradation of Dissolved Organic Matter in Natural Waters. In: MOSTOFA, K. M. G.; YOSHIOKA, T.; MOTTALEB, M. A.; VIONE, D. (Eds). **Photobiogeochemistry of Organic Matter: Principles and Practices in Water Environments**. Environmental Science and Engineering, Springer-Verlag Berlin. p. 273-364, 2013b. ISBN: 978-3-642-32223-5.

MUDAK-WRM. Base de dados do projeto Mudak-WRM: reservatório Passaúna. In: Filezilla. Disponível em: </home/mudak/MuDak/02_Data/02_Passauna/05>. Acesso em: 17 dez. 2019.

NEVES, M. A.; MACEDO, L. C. B.; FONSECA, L. C.; ALVES, J. P. H. Qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino – Barragem do Poxim/Sergipe. In: CONGRESSO INTERNACIONAL GESTÃO DA ÁGUA E MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2., Aracaju. **Anais eletrônicos...** São Paulo: RESAG, 2015. Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais/img/pdfs/ID_33.pdf>. Acesso em: 07 set. 2019.

OBERNOSTERER, I.; HERNDL, G. J. Differences in the optical and biological reactivity of the humic and nonhumic dissolved organic carbon component in two contrasting coastal marine environments. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 5, p. 1120-1129, 2000. DOI:10.4319/lo.2000.45.5.1120.

OBERNOSTERER, I.; REITNER, B.; HERNDL, G. J. Contrasting effects of solar radiation on dissolved organic matter and its bioavailability to marine bacterioplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 44, n. 7, p. 1645-1654, 1999. DOI: 10.4319/lo.1999.44.7.1645.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 927 p. ISBN: 972310158X.

PARANÁ (Estado). **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica**. Curitiba, 2010. 138 p.

———. Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba: [S.n.], 2004. 13p. + anexos.

———. ———. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 2005 a 2008**. Curitiba: Editora Fundamento, 2009. 120p. + anexos.

———. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. **Qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná**. Curitiba, 2017. 219 p.

———. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Capacidade do sistema atual e medidas de controle de cheias**. v. 3, tomo 3.1 - programa de implantação de medidas estruturais de controle. Relatório final. Curitiba, 2002.

PASTRANA-MARTÍNEZ, L. M.; MORALES-TORRES, S.; GOMES, H. T.; SILVA, A. M. T. Nanotubos e Grafeno: Os primos mais jovens na família do carbono! **Boletim de Química da Sociedade Portuguesa de Química**, n. 128, p. 21-27, 2013.

PAULA, B. S.; MILORI, D. M. B. P.; MONTES, C. R.; SILVA, W. T. L. Espectroscopia de fluorescência em matriz excitação-emissão aplicada a ácidos húmicos extraídos de horizontes espódicos da Floresta Amazônica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014.

PEIXOTO, E. M. A. Carbono. **Química Nova na Escola**: Seção Elemento Químico, n. 5, p. 34, maio 1997. ISSN 0104-8899.

PHYOE, W. W.; WANG, F. A review of carbon sink or source effect on artificial reservoirs. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 4, p. 2161-2174, 2019.

PINHEIRO, T. L. **Efeitos da reinundação de sedimentos expostos por secas prolongadas sobre as emissões de carbono em reservatórios da região semiárida**. 2019. 66f. : il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, 2019.

POOLE, H. H.; ATKINS, W. R. G. Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 16, p. 297-324, 1929.

RECHE, I.; PACE, M. L.; COLE, J. J. Interactions of Photobleaching and Inorganic Nutrients in Determining Bacterial Growth on Colored Dissolved Organic Carbon. **Microbial Ecology**, v. 36, n. 3, p. 270-280, 1998. DOI:10.1007/s002489900114.

REITNER, B.; HERNDL, G. J.; HERZIG, A. Role of ultraviolet-B radiation on photochemical and microbial oxygen consumption in a humic-rich shallow lake. **Limnology and Oceanography**, v. 42, n. 5, p. 950-960, 1997. DOI: 10.4319/lo.1997.42.5.0950.

ROCHELLE-NEWALL, E.; HULOT, F. D.; JANEAU, J. L.; MERROUNE, A. CDOM fluorescence as a proxy of DOC concentration in natural waters: a comparison of four contrasting tropical systems. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, p. 589-596, 2014. DOI: 10.1007/s10661-013-3401-2.

RODRIGUES, M. O. **Qualidade da água para o abastecimento público, no distrito de Guatá, município de Lauro Muller, Santa Catarina**. 2017. 25 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

RODRIGUES, T. W. P.; GUIMARÃES, U.S.; ROTTA, L. H.; WATANABE, F. S. Y.; ALCÂNTARA, E.; IMAI, N. N. Sampling design in reservoirs based on Landsat-8/OLI images: a case study in Nova Avanhandava reservoir (São Paulo State, Brazil). **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n. 2, p. 303-323, 2016. DOI: 10.1590/S1982-21702016000200017.

RODRÍGUEZ-MURILLO, J. C.; ZOBRIST, J.; FILELLA, M. Temporal trends in organic carbon content in the main Swiss rivers, 1974–2010. **Science of The Total Environment**, v. 502, n. 1, p. 206-217, 2015.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Diretrizes técnicas para projeto e implantação de estação local de tratamento de esgoto para empreendimentos imobiliários**. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/84B1F21196B56861832573A700509441/\\$File/diretrizes_tecnicas_etes.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/84B1F21196B56861832573A700509441/$File/diretrizes_tecnicas_etes.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2020b.

———. **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>. Acesso em: 12 nov. 2020a.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; VIEIRA, E. M. Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. **Química Nova na Escola**, n. 17, maio 2003.

SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **PAS_2019-04-01_SANEPAR_MANDATORY_DAM_MONITORING.csv**. [2019a]. 115 Kb. Formato CSV. Disponível em: <<https://ap.sanepa.com.br/sci-dados-barragens/passauna/dataset>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

———. **PAS_2019-10-01_SANEPAR_MANDATORY_DAM_MONITORING.csv**. [2019b]. 309 Kb. Formato CSV. Disponível em: <<https://ap.sanepa.com.br/sci-dados-barragens/passauna/dataset>>. Acesso em: 13 mar. 2020.

SANTOS, C. E. O. **Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e nos processos geoquímicos de salinização**. 2016. 97 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

SANTOS, F. R. **Tratamento da água da chuva por radiação ultravioleta usando energia fotovoltaica**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SANTOS, J. P. O. **Avaliação da qualidade da água e do sedimento em reservatórios de abastecimento público na Bacia do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil**. 2017. 44 f. Monografia (Graduação em Agronomia – Centro de Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

SBRISSIA, R. C. **Emissão de gases de efeito estufa de reservatórios de pequenas centrais hidrelétricas**: estudo de caso PC Salto Natal, campo Mourão - Paraná. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCHLESINGER, W. H.; MELACK, J. M. Transport of organic carbon in the world's rivers. **Tellus**, v. 33, n.2, p. 172-187, 1981.

SELEMANI; J. R.; ZHANG, J.; WU, Y.; MUZUKA, A. N. N.; NJAU, K. N.; ZHANG, G.; MZUZA, M. K.; MAGGID, A.; ZHANG, M.; QI, L. Distribution of organic carbon: possible causes and impacts in the Pangani River Basin ecosystem, Tanzania. **Environmental Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 137-149, 2018.

SEN-KAVURMACI, S.; BEKBOLET, M. Photocatalytic degradation of humic acid in the presence of montmorillonite. **Applied Clay Science**, v. 75-76, p. 60-66, 2013. DOI: 10.1016/j.clay.2013.03.006.

SHIMADZU CORPORATION. **TOC-V – Analisadores TOC**: especificações – série TOC-V. Disponível em: <<http://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/toc/toc-v.s.html>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

———. **TOC-VCPH/CPN&TOC-Control V Software**: user manual. PC-controlled total organic carbono analyser. Kyoto: Shimadzu Corporation, 2003. 416 p. Disponível em: <http://www.ecs.umass.edu/eve/facilities/equipment/TOC/TOCV/TOC-V_CP_Users_Manual_E.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

SIDDIQUI, E.; PANDEY, J. Temporal and spatial variations in carbon and nutrient loads, ion chemistry and trophic status of the Ganga River: a watershed-scale study. **Limnology**, v. 20, p. 255-266, 2019.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, dez. 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000400017.

SILVA, D. C. V. R.; QUEIROZ, L. G.; ALAMINO, D. A.; FERNANDES, J. G.; SILVA, S. C.; PAIVA, T. C. B.; POMPEO, M. L. M. Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 627-635, 2018.

SILVA, F. A.; TEIXEIRA, C. A.; CARVALHO, K. Q.; PASSIG, P. H. Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, 2018. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0015.

SILVA-SÁ, J. **Fluxo de CO₂ no reservatório da hidroelétrica de Curua-Una**. 2017. 48 p. Dissertação (Mestrado) – Área de concentração: Estudos e Manejos de Ecossistemas Amazônicos – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2017.

SINSABAUGH, R. L.; FINDLAY, S. Dissolved organic matter: out of the black box into the mainstream. In: FINDLAY, S. E. G.; SINSABAUGH, R. L. (Eds.). **Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter**. San Diego: Academic Press, 2002, p. 479-498. ISBN: 0-12-256371-9.

ŠÍR, M.; PODHOLA, M.; PATOČKA, T.; HONZAJKOVÁ, Z.; KOCUREK, P.; KUBAL, M.; KURAŠ, M. The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 207-208, p. 86-90, 2012. DOI:10.1016/j.jhazmat.2011.08.079.

SONDA – SISTEMA DE ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE DADOS AMBIENTAIS. **Estação de Curitiba**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/curitiba.html>>. Acesso em: 13 abr. 2020.

SOUZA, R. S.; MOURA, J. M. S.; SILVA, R.; HOLMES, R. M.; PEUCKER-EHRENBRINK, B.; SPENCER, R. G. M. Aporte de carbono orgânico em diferentes períodos hidrológicos no rio TAPAJÓS (PA), Amazônia, Brasil. **Geociências**, v. 38, n. 1, p. 221-228, 2019.

SPENCER, R. G. M.; BUTLER, K. D.; AIKEN, G. R. Dissolved organic carbon and chromophoric dissolved organic matter properties of rivers in the USA. **Journal of Geophysical Research**, v. 117, G03001, p. 1-14, 2012.

SUHETT, A. L.; AMADO, A. M.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; FARJALLA, V. F. O papel da foto-degradação do carbono orgânico dissolvido (COD) nos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 10, n. 2, p. 186-204, 2006. DOI: 10.4257/oeco.2006.1002.06.

TADEU, C. M. O. **O papel da radiação na degradação da matéria orgânica dissolvida: experimentos utilizando a exposição natural e artificial à radiação**. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia – Pós-Graduação em Ecologia conservação e manejo da vida silvestre) – Universidade Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

TEIXEIRA, M. C.; AZEVEDO, J. C. R.; PAGIORO, T. A. Photo-degradation effect on dissolved organic carbon availability to bacterioplankton in a lake in the upper Parana River floodplain. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 1, p. 47-54, 2013.

TESSAROLLI, L. P.; BAGATINI, I. L.; BIANCHINI-JR., I.; VIEIRA, A. A. H. Bacterial degradation of dissolved organic matter released by *Planktothrix agardhii* (Cyanobacteria). **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 1, p. 108-116, 2018. DOI: 10.1590/1519-6984.07616.

TOLEDO-JR., A. P.; TALARTICO, M.; CHINEZ, E. G.; AGUDO, S. J. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 1983, Cambuiú. **Anais...** Camburiu: ABES, 1983. p. 1-34.

TRANVIK, L. J.; BERTILSSON, S. Contrasting effects of solar UV radiation on dissolved organic sources for bacterial growth. **Ecology Letters**, v. 4, n. 5, p. 458-463, 2001.

TRANVIK, L.; KOKALJ, S. Decreased biodegradability of algal DOC due to interactive effects of UV radiation and humic matter. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 14, p. 301-307, 1998. DOI:10.3354/ame014301.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnology**. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-0-203-80395-0.

UTFPR – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Equipamentos**. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/pesquisa-e-pos-graduacao/laboratorios-multiusuarios/laboratorios/laboratorio-multiusuario-de-analises-quimicas-lamaq/equipamentos>>. Acesso em: 11 fev. 2020.

VALENTINE, R. L.; ZEPP, R. G. Formation of carbon monoxide from the photodegradation of terrestrial dissolved organic carbon in natural waters. **Environmental Science & Technology**, v. 27, n. 2, p. 409-412, 1993. DOI: 10.1021/es00039a023.

WILSKE, C.; HERZSPRUNG, P.; LECHTENFELD, O. J.; KAMJUNKE, N.; VON-TÜMPLING, W. Photochemically Induced Changes of Dissolved Organic Matter in a Humic-Rich and Forested Stream. **Water**, v. 12, n. 2, 2020. DOI:10.3390/w12020331.

WISBECK, E.; SANDRI, E. K.; SOARES, A. L. M.; MEDEIROS, S. H. W. Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 337-342, 2011. DOI: 10.1590/S1413-41522011000400004.

ZAFIRIOU, O. C.; JOUSSOT-DUBIEN, J.; ZEPP, R. G.; ZIKA, R. G. Photochemistry of natural waters. **Environmental Science & Technology**, v. 18, n. 12, p. 358A-371A, 1984. DOI:10.1021/es00130a001.

ZANONI, M. M. V.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; KAN, A.; REISSMANN, C. B. Emissão de metano por decomposição de resíduo florestal inundado, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 173-179, 2015.

ZIEGLER, S.; BENNER, R. Effects of solar radiation on dissolved organic matter cycling in a subtropical seagrass meadow. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 2, p. 257-266, 2000. DOI: 10.4319/lo.2000.45.2.0257.

APÊNDICES

APÊNDICE A – VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS MONITORADAS NA SUPERFÍCIE DA REGIÃO DA CAPTAÇÃO (2018 - 2019)

Campanha de amostragem	pH	OD (mgL ⁻¹)	Temperatura (°C)	COD (mgL ⁻¹)	NT (mgL ⁻¹)	PT (mgL ⁻¹)	Turbidez (NTU)
fev/18	-	-	23,14	2,80	0,83	0,01	2,50
	-	-	24,10	3,11	0,49	0,01	1,69
abr/18	-	-	24,75	-	-	-	-
	7,58	6,28	22,91	3,47	-	-	-
mai/18	7,18	7,51	22,45	2,92	0,67	0,01	2,00
jun/18	-	7,13	18,19	2,56	0,52*	0,01	3,00
ago/18	8,19	7,57	17,65	2,27	0,68	0,01	2,83
out/18	7,76	6,66	19,40	2,52	0,44	0,01	-
nov/18	8,39	7,04	22,73	2,46	0,46	0,01	1,50
dez/18	8,68	6,20	24,92	2,51	0,37	0,02	1,50
fev/19	8,24	4,76	26,36	2,79	0,62	<i>not analysed</i>	2,39
abr/19	-	-	25,11	2,62	0,47	0,01	2,10
Média	8,04	6,64	22,76	2,73	0,56	0,01	2,17
Máx.	8,68	7,57	26,36	3,47	0,83	0,02	3,00
Mín.	7,18	4,76	17,65	2,27	0,37	0,01	1,50

FONTE: Adaptado de MUDAK-WRM (2019)

APÊNDICE B – RADIAÇÃO SOLAR (W.m⁻²) CORRIGIDA PELO COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO VERTICAL (k) DA ÁGUA

(continua)

Hora (UTC-3)	RADIAÇÃO SOLAR (W.m ⁻²)											
	0,05 m		0,50 m		1,00 m		1,50 m		2,00 m		2,10 m	
	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)
12:00	50532,32	50532,32	50532,14	50532,15	50531,91	50531,93	50531,64	50531,67	50531,31	50531,36	50531,24	50531,29
13:00	41715,65	41715,65	41715,47	41715,48	41715,25	41715,26	41714,97	41715,00	41714,65	41714,69	41714,57	41714,62
14:00	33932,32	33932,32	33932,14	33932,15	33931,91	33931,93	33931,64	33931,67	33931,31	33931,36	33931,24	33931,29
15:00	16382,32	16382,32	16382,14	16382,15	16381,91	16381,93	16381,64	16381,67	16381,31	16381,36	16381,24	16381,29
16:00	9838,98	9838,98	9838,81	9838,81	9838,58	9838,60	9838,31	9838,33	9837,98	9838,03	9837,91	9837,96
17:00	2707,32	2707,32	2707,14	2707,15	2706,91	2706,93	2706,64	2706,67	2706,31	2706,36	2706,24	2706,29
18:00	17,63	17,63	17,46	17,46	17,23	17,25	16,96	16,98	16,63	16,68	16,56	16,61
5:00	14,45	14,45	14,27	14,31	14,05	14,14	13,77	13,94	13,45	13,70	13,37	13,65
6:00	3600,65	3600,65	3600,47	3600,51	3600,25	3600,34	3599,97	3600,14	3599,65	3599,90	3599,57	3599,85
7:00	15997,32	15997,32	15997,14	15997,18	15996,91	15997,01	15996,64	15996,80	15996,31	15996,57	15996,24	15996,52
8:00	26198,98	26198,99	26198,81	26198,85	26198,58	26198,67	26198,31	26198,47	26197,98	26198,24	26197,91	26198,19
9:00	41448,98	41448,99	41448,81	41448,85	41448,58	41448,67	41448,31	41448,47	41447,98	41448,24	41447,91	41448,19
10:00	57565,65	57565,65	57565,47	57565,51	57565,25	57565,34	57564,97	57565,14	57564,65	57564,90	57564,57	57564,85
11:00	60848,98	60848,99	60848,81	60848,85	60848,58	60848,67	60848,31	60848,47	60847,98	60848,24	60847,91	60848,19
12:00	55698,98	55698,99	55698,81	55698,85	55698,58	55698,67	55698,31	55698,47	55697,98	55698,24	55697,91	55698,19
13:00	52382,32	52382,32	52382,14	52382,18	52381,91	52382,01	52381,64	52381,80	52381,31	52381,57	52381,24	52381,52
14:00	49765,65	49765,65	49765,47	49765,51	49765,25	49765,34	49764,97	49765,14	49764,65	49764,90	49764,57	49764,85
15:00	35182,32	35182,32	35182,14	35182,18	35181,91	35182,01	35181,64	35181,80	35181,31	35181,57	35181,24	35181,52
16:00	23132,32	23132,32	23132,14	23132,18	23131,91	23132,01	23131,64	23131,80	23131,31	23131,57	23131,24	23131,52
17:00	8308,98	8308,99	8308,81	8308,85	8308,58	8308,67	8308,31	8308,47	8307,98	8308,24	8307,91	8308,19
18:00	184,48	184,49	184,31	184,35	184,08	184,17	183,81	183,97	183,48	183,74	183,41	183,69
5:00	60,13	60,14	59,96	60,02	59,73	59,88	59,46	59,71	59,13	59,52	59,06	59,48
6:00	2673,98	2673,99	2673,81	2673,87	2673,58	2673,73	2673,31	2673,56	2672,98	2673,37	2672,91	2673,33
7:00	12365,65	12365,65	12365,47	12365,54	12365,25	12365,39	12364,97	12365,23	12364,65	12365,04	12364,57	12365,00
8:00	36132,32	36132,32	36132,14	36132,20	36131,91	36132,06	36131,64	36131,89	36131,31	36131,71	36131,24	36131,67
9:00	48715,65	48715,65	48715,47	48715,54	48715,25	48715,39	48714,97	48715,23	48714,65	48715,04	48714,57	48715,00
10:00	56965,65	56965,65	56965,47	56965,54	56965,25	56965,39	56964,97	56965,23	56964,65	56965,04	56964,57	56965,00

(continuação)

Hora (UTC-3)	RADIÇÃO SOLAR (W.m ⁻²)											
	0,05 m		0,50 m		1,00 m		1,50 m		2,00 m		2,10 m	
	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)
11:00	60815,65	60815,65	60815,47	60815,54	60815,25	60815,39	60814,97	60815,23	60814,65	60815,04	60814,57	60815,00
12:00	61082,32	61082,32	61082,14	61082,20	61081,91	61082,06	61081,64	61081,89	61081,31	61081,71	61081,24	61081,67
13:00	57165,65	57165,65	57165,47	57165,54	57165,25	57165,39	57164,97	57165,23	57164,65	57165,04	57164,57	57165,00
14:00	49132,32	49132,32	49132,14	49132,20	49131,91	49132,06	49131,64	49131,89	49131,31	49131,71	49131,24	49131,67
15:00	34532,32	34532,32	34532,14	34532,20	34531,91	34532,06	34531,64	34531,89	34531,31	34531,71	34531,24	34531,67
16:00	22765,65	22765,65	22765,47	22765,54	22765,25	22765,39	22764,97	22765,23	22764,65	22765,04	22764,57	22765,00
17:00	8260,65	8260,65	8260,47	8260,54	8260,25	8260,39	8259,97	8260,23	8259,65	8260,04	8259,57	8260,00
18:00	214,82	214,82	214,64	214,70	214,41	214,56	214,14	214,39	213,81	214,21	213,74	214,17
5:00	89,83	89,83	89,66	89,65	89,43	89,42	89,16	89,14	88,83	88,80	88,76	88,73
6:00	3418,98	3418,98	3418,81	3418,80	3418,58	3418,57	3418,31	3418,29	3417,98	3417,95	3417,91	3417,88
7:00	11307,32	11307,32	11307,14	11307,14	11306,91	11306,90	11306,64	11306,62	11306,31	11306,29	11306,24	11306,21
8:00	33148,98	33148,98	33148,81	33148,80	33148,58	33148,57	33148,31	33148,29	33147,98	33147,95	33147,91	33147,88
9:00	47598,98	47598,98	47598,81	47598,80	47598,58	47598,57	47598,31	47598,29	47597,98	47597,95	47597,91	47597,88
10:00	50948,98	50948,98	50948,81	50948,80	50948,58	50948,57	50948,31	50948,29	50947,98	50947,95	50947,91	50947,88
11:00	57248,98	57248,98	57248,81	57248,80	57248,58	57248,57	57248,31	57248,29	57247,98	57247,95	57247,91	57247,88
12:00	59798,98	59798,98	59798,81	59798,80	59798,58	59798,57	59798,31	59798,29	59797,98	59797,95	59797,91	59797,88
13:00	56665,65	56665,65	56665,47	56665,47	56665,25	56665,24	56664,97	56664,96	56664,65	56664,62	56664,57	56664,55
14:00	49148,98	49148,98	49148,81	49148,80	49148,58	49148,57	49148,31	49148,29	49147,98	49147,95	49147,91	49147,88
15:00	33532,32	33532,32	33532,14	33532,14	33531,91	33531,90	33531,64	33531,62	33531,31	33531,29	33531,24	33531,21
16:00	23415,65	23415,65	23415,47	23415,47	23415,25	23415,24	23414,97	23414,96	23414,65	23414,62	23414,57	23414,55
17:00	7735,65	7735,65	7735,47	7735,47	7735,25	7735,24	7734,97	7734,96	7734,65	7734,62	7734,57	7734,55
18:00	137,97	137,97	137,79	137,79	137,56	137,55	137,29	137,27	136,96	136,94	136,89	136,86
5:00	109,07	109,07	108,89	108,89	108,66	108,65	108,39	108,37	108,06	108,04	107,99	107,96
6:00	3738,98	3738,98	3738,81	3738,80	3738,58	3738,57	3738,31	3738,29	3737,98	3737,95	3737,91	3737,88
7:00	18715,65	18715,65	18715,47	18715,47	18715,25	18715,24	18714,97	18714,96	18714,65	18714,62	18714,57	18714,55
8:00	35015,65	35015,65	35015,47	35015,47	35015,25	35015,24	35014,97	35014,96	35014,65	35014,62	35014,57	35014,55
9:00	46832,32	46832,32	46832,14	46832,14	46831,91	46831,90	46831,64	46831,62	46831,31	46831,29	46831,24	46831,21
10:00	55382,32	55382,32	55382,14	55382,14	55381,91	55381,90	55381,64	55381,62	55381,31	55381,29	55381,24	55381,21
11:00	47965,65	47965,65	47965,47	47965,47	47965,25	47965,24	47964,97	47964,96	47964,65	47964,62	47964,57	47964,55
12:00	48348,98	48348,98	48348,81	48348,80	48348,58	48348,57	48348,31	48348,29	48347,98	48347,95	48347,91	48347,88

(continuação)

Hora (UTC-3)	RADIÇÃO SOLAR (W.m ⁻²)											
	0,05 m		0,50 m		1,00 m		1,50 m		2,00 m		2,10 m	
	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)
13:00	49548,98	49548,98	49548,81	49548,80	49548,58	49548,57	49548,31	49548,29	49547,98	49547,95	49547,91	49547,88
14:00	44065,65	44065,65	44065,47	44065,47	44065,25	44065,24	44064,97	44064,96	44064,65	44064,62	44064,57	44064,55
15:00	32465,65	32465,65	32465,47	32465,47	32465,25	32465,24	32464,97	32464,96	32464,65	32464,62	32464,57	32464,55
16:00	22948,98	22948,98	22948,81	22948,80	22948,58	22948,57	22948,31	22948,29	22947,98	22947,95	22947,91	22947,88
17:00	7993,98	7993,98	7993,81	7993,80	7993,58	7993,57	7993,31	7993,29	7992,98	7992,95	7992,91	7992,88
18:00	161,20	161,20	161,02	161,02	160,80	160,79	160,52	160,51	160,20	160,17	160,12	160,10
5:00	104,42	104,42	104,24	104,24	104,01	104,00	103,74	103,72	103,41	103,39	103,34	103,31
6:00	3762,32	3762,32	3762,14	3762,14	3761,91	3761,90	3761,64	3761,62	3761,31	3761,29	3761,24	3761,21
7:00	18432,32	18432,32	18432,14	18432,14	18431,91	18431,90	18431,64	18431,62	18431,31	18431,29	18431,24	18431,21
8:00	34682,32	34682,32	34682,14	34682,14	34681,91	34681,90	34681,64	34681,62	34681,31	34681,29	34681,24	34681,21
9:00	44432,32	44432,32	44432,14	44432,14	44431,91	44431,90	44431,64	44431,62	44431,31	44431,29	44431,24	44431,21
10:00	45465,65	45465,65	45465,47	45465,47	45465,25	45465,24	45464,97	45464,96	45464,65	45464,62	45464,57	45464,55
11:00	60848,98	60848,98	60848,81	60848,80	60848,58	60848,57	60848,31	60848,29	60847,98	60847,95	60847,91	60847,88
12:00	55915,65	55915,65	55915,47	55915,47	55915,25	55915,24	55914,97	55914,96	55914,65	55914,62	55914,57	55914,55
13:00	42865,65	42865,65	42865,47	42865,47	42865,25	42865,24	42864,97	42864,96	42864,65	42864,62	42864,57	42864,55
14:00	27082,32	27082,32	27082,14	27082,14	27081,91	27081,90	27081,64	27081,62	27081,31	27081,29	27081,24	27081,21
15:00	34548,98	34548,98	34548,81	34548,80	34548,58	34548,57	34548,31	34548,29	34547,98	34547,95	34547,91	34547,88
16:00	23148,98	23148,98	23148,81	23148,80	23148,58	23148,57	23148,31	23148,29	23147,98	23147,95	23147,91	23147,88
17:00	7297,32	7297,32	7297,14	7297,14	7296,91	7296,90	7296,64	7296,62	7296,31	7296,29	7296,24	7296,21
18:00	89,37	89,37	89,19	89,19	88,96	88,95	88,69	88,67	88,36	88,34	88,29	88,26
5:00	102,43	102,43	102,26	102,25	102,03	102,02	101,76	101,74	101,43	101,40	101,36	101,33
6:00	5218,98	5218,98	5218,81	5218,80	5218,58	5218,57	5218,31	5218,29	5217,98	5217,95	5217,91	5217,88
7:00	10008,98	10008,98	10008,81	10008,80	10008,58	10008,57	10008,31	10008,29	10007,98	10007,95	10007,91	10007,88
8:00	19848,98	19848,98	19848,81	19848,80	19848,58	19848,57	19848,31	19848,29	19847,98	19847,95	19847,91	19847,88
9:00	48382,32	48382,32	48382,14	48382,14	48381,91	48381,90	48381,64	48381,62	48381,31	48381,29	48381,24	48381,21
10:00	47732,32	47732,32	47732,14	47732,14	47731,91	47731,90	47731,64	47731,62	47731,31	47731,29	47731,24	47731,21
11:00	54165,65	54165,65	54165,47	54165,47	54165,25	54165,24	54164,97	54164,96	54164,65	54164,62	54164,57	54164,55
12:00	57165,65	57165,65	57165,47	57165,47	57165,25	57165,24	57164,97	57164,96	57164,65	57164,62	57164,57	57164,55
13:00	56365,65	56365,65	56365,47	56365,47	56365,25	56365,24	56364,97	56364,96	56364,65	56364,62	56364,57	56364,55
14:00	36748,98	36748,98	36748,81	36748,80	36748,58	36748,57	36748,31	36748,29	36747,98	36747,95	36747,91	36747,88

(conclusão)

Hora (UTC-3)	RADIAÇÃO SOLAR (W.m ⁻²)											
	0,05 m		0,50 m		1,00 m		1,50 m		2,00 m		2,10 m	
	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)	k (geral)	k (períodos)
15:00	9385,65	9385,65	9385,47	9385,47	9385,25	9385,24	9384,97	9384,96	9384,65	9384,62	9384,57	9384,55
16:00	3825,65	3825,65	3825,47	3825,47	3825,25	3825,24	3824,97	3824,96	3824,65	3824,62	3824,57	3824,55
17:00	546,32	546,32	546,14	546,14	545,91	545,90	545,64	545,62	545,31	545,29	545,24	545,21
5:00	116,38	116,37	116,21	116,00	115,98	115,43	115,71	114,63	115,38	113,50	115,31	113,23
6:00	1017,82	1017,80	1017,64	1017,43	1017,41	1016,86	1017,14	1016,06	1016,81	1014,94	1016,74	1014,66
7:00	2352,32	2352,30	2352,14	2351,93	2351,91	2351,36	2351,64	2350,56	2351,31	2349,44	2351,24	2349,16
8:00	6592,32	6592,30	6592,14	6591,93	6591,91	6591,36	6591,64	6590,56	6591,31	6589,44	6591,24	6589,16
9:00	11292,32	11292,30	11292,14	11291,93	11291,91	11291,36	11291,64	11290,56	11291,31	11289,44	11291,24	11289,16

Fonte: A autora (2020)

APÊNDICE C – ESTUDOS SOBRE COD E/OU MOD EM DIFERENTES RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

Reservatório	País	Uso e ocupação do solo	Finalidade	Abordagem	Amostragem	Análises	Referência
Hassel	Alemanha (clima Cfb)	Agricultura e silvicultura	Captura de sedimentos e remoção de nutrientes à montante dos reservatórios de água potável.	O papel das pré-barragens na produção e decomposição do COD e impactos na qualidade da água do reservatório.	Várias profundidades; zona eufótica.	COD (detector infravermelho); espectroscopia UV-Vis; espectroscopia de fluorescência (MEE e espectros síncronos); índices para caracterização do COD.	Morling, Herzsprung e Kamjunke (2017)
Rappbode							
Rote Mulde	Alemanha (clima Dfb)						
Itumbiara	Brasil-GO (clima Aw)	Agropecuária	Abastecimento; irrigação; navegação; produção de energia; regularização de vazões.	Modelagem propriedades ópticas da água	Superfície	COD; transparência (Secchi); turbidez; pH.	Alcântara et al. (2015)
Três Marias	Brasil-MG (climas Aw, Cwa e Cwb)	Garimpo; mineração; silvicultura; urbana.	Produção de energia	Modelagem propriedades ópticas da água; concentração dos constituintes opticamente ativos	Superfície	COD (TOC por combustão à 680°C); espectroscopia (fluorescência, UV-Vis e infravermelho próximo); transparência (Secchi); turbidez; AC-S (medição dos coeficientes de absorção e de atenuação); medição do retroespalhamento em diferentes comprimentos de onda.	Ferreira (2014)
Água purificada utilizada em indústria farmacêutica	Brasil-PE (clima Am)	N/A	Indústria farmacêutica	Quantificação do COT na água de uma indústria farmacêutica	Diferentes pontos do sistema de produção de água purificada e dos processos de limpeza de equipamentos	COD (combustão à 680°C e detector infravermelho).	Clementino, Rolim-Neto e Alencar (2008)

FONTE: A autora (2020).
LEGENDA: N/A - não se aplica.

Reservatório	País	Uso e ocupação do solo	Finalidade	Abordagem	Amostragem	Análises	Referência
Foz do Areia	Brasil-PR (clima Cfb)	Agropecuária; florestal; urbana; uso misto.	Produção de energia; regularização de vazões.	Variáveis limnológicas para caracterização ambiental	N/I	COD; OD; pH; temperatura; turbidez.	Adloff et al. (2019)
Salto Caxias	Brasil-PR (clima Cfa)	Agrícola	Lazer; pesca; produção de energia.				
Salto Santiago	Brasil-PR (climas Cfa e Cfb)						
Segredo	Brasil-PR (clima Cfb)	Agropecuária; florestal; uso misto.	Dessedentação animal; lazer; navegação; pesca amadora; produção de energia; regularização de vazões.				
Passaúna		Agrícola; industrial; urbana.	Abastecimento; lazer; pesca.	Variação espacial e temporal da qualidade da água e caracterização da matéria orgânica.	Superfície e outras profundidades em cinco pontos de amostragem.	COD; Espectroscopia UV-Vis; Espectroscopia de fluorescência (MEE e índices para caracterização da MOD); pH; temperatura; turbidez.	Godoy (2017)
Capivari		Florestal; urbana; uso misto.	Abastecimento; ecoturismo; irrigação; produção de energia.	Modelagem de gases de efeito estufa a partir de valores medidos de carbono (COD e outras formas), pH, dados hidrológicos e meteorológicos.	Superfície (afluente)	COD; COP; CID; pH.	Mannich et al. (2015)
Foz do Areia		Agropecuária; florestal; urbana; uso misto.	Produção de energia e regularização de vazões.	Caracterização da MOD e avaliação de aspectos físicos, químicos e cianotoxinas.	Superfície	Clorofila-α; COD; espectroscopia UV-Vis e de fluorescência (MEE e espectros síncronos); fósforo (total e ortofosfato); nitrogênio (amoniaco, nitrito, nitrato).	Marcante et al. (2018)

FONTE: A autora (2020).
 LEGENDA: N/I - não informado.

Reservatório	País	Uso e ocupação do solo	Finalidade	Abordagem	Amostragem	Análises	Referência
Poção da Ribeira	Brasil-SE (clima As)	Agropecuária; estabelecimentos de lazer/turismo; mineração (pedreira).	Abastecimento; irrigação; lazer; navegação; piscicultura.	Variação temporal e espacial dos parâmetros da qualidade da água	Superfície; pontos de amostragem.	COD; fósforo total; OD; pH; temperatura; turbidez.	Santos (2016)
Nova Avanhandava	Brasil-SP (climas Cfa e Aw)	Agropecuária; florestal; uso misto.	Abastecimento; irrigação; lazer; esportes aquáticos; navegação; pesca; produção de energia.	Delineamento amostral utilizando imagens do satélite LANDSAT-8/OLI	Várias profundidades; 20 pontos de amostragem.	Clorofila-α; COD; OD; pH; temperatura; transparência; turbidez.	Rodrigues et al. (2016)
Barra Bonita	Brasil-SP (clima Cfa)	Agrícola; industrial; urbano; uso misto.	Abastecimento (industrial e urbano); irrigação; lazer; navegação; piscicultura; produção de energia.	Biodegradação da MOD decorrente da floração de cianobactérias	N/I	COD; NOD.	Tessarolli et al. (2018)
Bohyunsan/Bohyeonsan	Coreia do Sul (clima Cfa)	Agricultura; florestal; urbana.	Abastecimento; irrigação; regularização de; vazões.	Monitoramento da composição da MOD	Superfície	COD; cromatografia; espectroscopia UV-Vis (a 254 nm); SUVA.	Chen et al. (2015)
Barr	EUA (clima Dfa)	Florestal; urbana.	Ecoturismo; lazer; pesca.	Determinação de clorofila e COD a partir de dados de refletância		Análise de refletância em diferentes comprimentos de onda; biomassa fitoplanctônica; clorofila-α; COD; transparência (Secchi).	Arenz-Jr, Lewis-Jr e Saunders-III (1996)
Bear Creek			Ecoturismo; lazer; pesca; regularização de vazões.	Determinação de clorofila e COD a partir de dados de refletância			
Carter		Agrícola; florestal; urbana.	Abastecimento; controle de inundações; irrigação; produção de energia.				
Chatfield		Florestal; urbana.	Abastecimento; controle de inundações; ecoturismo; lazer; pesca.				
Cherry Creek			Controle de inundações; lazer; pesca; turismo.				

FONTE: A autora (2020).
 LEGENDA: N/I - não informado.

Reservatório	País	Uso e ocupação do solo	Finalidade	Abordagem	Amostragem	Análises	Referência
Horsetooth	EUA (clima Dfa)	Florestal; urbana.	Ecoturismo; lazer; pesca.	Determinação de clorofila e COD a partir de dados de refletância.	Superfície	Análise de refletância em diferentes comprimentos de onda; biomassa fitoplanctônica; clorofila-α; COD; transparência (Secchi).	Arenz-Jr, Lewis-Jr e Saunders-III (1996)
Main							
Standley		Agrícola; florestal; urbana.	Abastecimento; ecoturismo; irrigação; lazer; pesca.				
Cargelligo	Austrália (clima BSk)	Vegetação rasa; semiárido.	Represa de desvio / barramento de fluxo	Relação entre a absorção de MOD e COD em reservatórios ao longo de um gradiente temperado a tropical.		COD; MOD cromófica; sólidos suspensos totais; espectroscopia.	Hestir et al. (2015)
Hume	Austrália (clima Cfb)	Pecuária; pastagens; ravina e montanha; uso misto.	Produção de energia, irrigação, regulação de fluxo fluvial e recreação.				
Blowering		Silvicultura; área de conservação; pastagens; cultivo de sequeiro e de hortaliças.	Produção de energia.				
Wivenhoe	Austrália (clima Cfa)	Pastagens; áreas de conservação; silvicultura.	Controle de inundações, produção de energia e abastecimento urbano.				
Fairbairn		Pastagens; cultivo de sequeiro; agricultura irrigada; silvicultura.	Irrigação, lavagem de carvão e recarga das águas subterrâneas.				
Burdekin Falls	Austrália (clima Aw)	Floresta tropical e savana; e savana tropical seca e semiárida no sul	Irrigação, abastecimento urbano.				
Jaime Umbelino	Brasil-SE (clima Am)	Vegetação arbórea; solo pastagem; exposto etc.	Abastecimento urbano.				
Soyang	Coreia do Sul (clima Dwa)	Silvicultura; área de conservação.	Controle de inundações; abastecimento de água e produção de energia.	Efeitos das monções de verão sobre a distribuição e carregamento do carbono orgânico.	0; 2; 5; e 10 m	COD e COP.	Kim et al. (2000)

FONTE: A autora (2020).

APÊNDICE D – FOTODEGRADAÇÃO DA MOD (ANÁLISES ESTATÍSTICAS)

I. MON – Abril/2019 (Campo I):

Carbono orgânico dissolvido (COD)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t_0 e t_2

	COD (mgL ⁻¹)	
	t_0	t_2
Média	2,616	3,083361
Erro padrão	0	0,024671
Mediana	2,616	3,078583
Moda	2,616	#N/D
Desvio padrão	0	0,06043
Variância da amostra	0	0,0037
Curtose	#DIV/0!	0,806779
Assimetria	#DIV/0!	0,653583
Intervalo	0	0,176333
Mínimo	2,616	3,006333
Máximo	2,616	3,182667
Soma	15,696	18,50017
Contagem	6	6
Maior (1)	2,616	3,182667
Menor (1)	2,616	3,006333
Nível de confiança (95,0%)	0	0,063418

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t_0 e t_2

DADOS

	COD (mgL ⁻¹)	
	t_0	t_2
Superfície (0,05 m)	2,616	3,059
0,1 m	2,616	3,183
0,5 m	2,616	3,099
1,0 m	2,616	3,049
1,5 m	2,616	3,006
2,0 m	2,616	3,105
Escuro (2,10 m)	2,616	3,443

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	2	5,6745	2,83725	0,097903125
0,1 m	2	5,798667	2,899333333	0,160555556
0,5 m	2	5,714667	2,857333333	0,116483556
1,0 m	2	5,665333	2,832666667	0,093888889
1,5 m	2	5,622333	2,811166667	0,076180056
2,0 m	2	5,720667	2,860333333	0,119397556
Escuro (2,10 m)	2	6,059	3,0295	0,3419645
t_0	7	18,312	2,616	0
t_2	7	21,94317	3,134738095	0,021520332

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,064560996	6	0,010760166	1,000	0,5000	4,284
Tempo de incubação	0,94181224	1	0,94181224	87,528	0,0001	5,987
Erro	0,064560996	6	0,010760166			
Total	1,070934232	13				

TESTE DE TUKEY – t_0 e t_2 *DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)*

Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	3,46
DMS	0,359

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

	COD (mgL ⁻¹)		ΔCOD
	t_0	t_2	
Superfície (0,05 m)	2,616	3,059	0,443
0,1 m	2,616	3,183	0,567
0,5 m	2,616	3,099	0,483
1,0 m	2,616	3,049	0,433
1,5 m	2,616	3,006	0,390
2,0 m	2,616	3,105	0,489
Escuro (2,10 m)	2,616	3,443	0,827

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t_0 , t_2 e t_7

	COD (mgL ⁻¹)		
	t_0	t_2	t_7
Média	2,616	3,083361	3,554333333
Erro padrão	0	0,024671	0,086235981
Mediana	2,616	3,078583	3,547
Moda	2,616	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0	0,06043	0,211234151
Variância da amostra	0	0,003652	0,044619867
Curtose	#DIV/0!	0,806779	-0,46694688
Assimetria	#DIV/0!	0,653583	0,247676199
Intervalo	0	0,176333	0,587
Mínimo	2,616	3,006333	3,279
Máximo	2,616	3,182667	3,866
Soma	15,696	18,50017	21,326
Contagem	6	6	6
Maior (1)	2,616	3,182667	3,866
Menor (1)	2,616	3,006333	3,279
Nível de confiança (95,0%)	0	0,063418	0,221676647

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t_0 , t_2 e t_7 *DADOS*

	COD (mgL ⁻¹)		
	t_0	t_2	t_7
Superfície (0,05 m)	2,616	3,059	3,866
0,5 m	2,616	3,099	3,537
1,0 m	2,616	3,049	3,701
1,5 m	2,616	3,006	3,279
2,0 m	2,616	3,105	3,557
Escuro (0,10 m)	2,616	3,183	3,386

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	3	9,5405	3,180166667	0,401727083
0,5 m	3	9,251667	3,083888889	0,212224037
1,0 m	3	9,366333	3,122111111	0,298278704
1,5 m	3	8,901333	2,967111111	0,111046037
2,0 m	3	9,277667	3,092555556	0,221480259
Escuro (0,10 m)	3	9,184667	3,061555556	0,159225926
t_0	6	15,696	2,616	0
t_2	6	18,50017	3,083361111	0,003651805

(continuação)

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,074815637	5	0,014963127	0,898455816	0,51800732	3,32583
Tempo de incubação	2,641421373	2	1,320710687	79,30161664	0,00000073	4,10282
Erro	0,166542719	10	0,016654272			
Total	2,88277973	17				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,010760166
Tratamentos (condições de incubação)	2
gl _{ERRO}	6
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	3,46
DMS	0,359

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

	TEMPO		COD (mgL ⁻¹)		ΔCOD
	1	2	Concentração 1	Concentração 2	
Superfície (0,05 m)	t0	t2	2,616	3,059	0,443
	t0	t7	2,616	3,866	1,250
	t2	t7	3,059	3,866	0,808
0,1 m	t0	t2	2,616	3,099	0,483
	t0	t7	2,616	3,537	0,921
	t2	t7	3,099	3,537	0,438
0,5 m	t0	t2	2,616	3,049	0,433
	t0	t7	2,616	3,701	1,085
	t2	t7	3,049	3,701	0,652
1,0 m	t0	t2	2,616	3,006	0,390
	t0	t7	2,616	3,279	0,663
	t2	t7	3,006	3,279	0,273
1,5 m	t0	t2	2,616	3,105	0,489
	t0	t7	2,616	3,557	0,941
	t2	t7	3,105	3,557	0,452
2,0 m	t0	t2	2,616	3,183	0,567
	t0	t7	2,616	3,386	0,770
	t2	t7	3,183	3,386	0,203
Escuro (2,10 m)	t0	t2	2,616	3,059	0,443
	t0	t7	2,616	3,866	1,250
	t2	t7	3,059	3,866	0,808

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 1ª retirada (t₂)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	0,436032667	0,290782333	0,178076	0,141314	0,2785175
Erro padrão	0,038510974	0,033524148	0,006331075	0,004085985	0,011864454
Mediana	0,4268865	0,2842375	0,1830135	0,144807	0,277899
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,094332236	0,082117057	0,015507904	0,010008578	0,029061857
Variância da amostra	0,008898571	0,006743211	0,000240495	0,000100172	0,000844592
Curtose	-0,321438053	1,228489057	3,210229952	2,65021057	-0,083761731
Assimetria	0,507621462	1,06232917	-1,712057413	-1,645540428	-0,496763065
Intervalo	0,259823	0,220599	0,043421	0,026858	0,078664
Mínimo	0,322144	0,21267	0,148813	0,122698	0,232677
Máximo	0,581967	0,433269	0,192234	0,149556	0,311341
Soma	2,616196	1,744694	1,068456	0,847884	1,671105
Contagem	6	6	6	6	6
Maior (1)	0,581967	0,433269	0,192234	0,149556	0,311341
Menor (1)	0,322144	0,21267	0,148813	0,122698	0,232677
Nível de confiança (95,0%)	0,098995611	0,086176566	0,016274548	0,010503358	0,030498549

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	0,41296	0,267108	0,148813	0,122698	0,232677
0,5 m	0,322144	0,316737	0,182319	0,137808	0,264214
1,0 m	0,359962	0,213543	0,187106	0,14377	0,307075
1,5 m	0,581967	0,433269	0,192234	0,148208	0,311341
2,0 m	0,49835	0,21267	0,183708	0,145844	0,274483
Escuro (0,10 m)	0,440813	0,301367	0,174276	0,149556	0,281315

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	1,184256	0,2368512	0,013182221
0,5 m	5	1,223222	0,2446444	0,006721243
1,0 m	5	1,211456	0,2422912	0,007905413
1,5 m	5	1,667019	0,3334038	0,031617472
2,0 m	5	1,315055	0,263011	0,019516835
Escuro (0,10 m)	5	1,347327	0,2694654	0,013489353
A	6	2,616196	0,436032667	0,008898571
B	6	1,744694	0,290782333	0,006743211
C	6	1,068456	0,178076	0,000240495
T1	6	0,847884	0,141314	0,000100172
T2	6	1,671105	0,2785175	0,000844592

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,032126761	5	0,006425352	2,471	0,06733351	2,711
Picos de IF	0,317721705	4	0,079430426	30,545	0,00000003	2,866
Erro	0,052008439	20	0,002600422			
Total	0,401856906	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,003
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
alores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	0,227

(continuação)

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

Condição de incubação	Pico 1	Pico 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	0,413	0,267	0,146
	A	C	0,413	0,149	0,264
	A	T1	0,413	0,123	0,290
	A	T2	0,413	0,233	0,180
	B	C	0,267	0,149	0,118
	B	T1	0,267	0,123	0,144
	B	T2	0,267	0,233	0,034
	C	T1	0,149	0,123	0,026
	C	T2	0,149	0,233	0,084
	T1	T2	0,123	0,233	0,110
Escuro (0,10 m)	A	B	0,441	0,301	0,139
	A	C	0,441	0,174	0,267
	A	T1	0,441	0,150	0,291
	A	T2	0,441	0,281	0,159
	B	C	0,301	0,174	0,127
	B	T1	0,301	0,150	0,152
	B	T2	0,301	0,281	0,020
	C	T1	0,174	0,150	0,025
	C	T2	0,174	0,281	0,107
	T1	T2	0,150	0,281	0,132
0,5 m	A	B	0,322	0,317	0,005
	A	C	0,322	0,182	0,140
	A	T1	0,322	0,138	0,184
	A	T2	0,322	0,264	0,058
	B	C	0,317	0,182	0,134
	B	T1	0,317	0,138	0,179
	B	T2	0,317	0,264	0,053
	C	T1	0,182	0,138	0,045
	C	T2	0,182	0,264	0,082
	T1	T2	0,138	0,264	0,126
1,0 m	A	B	0,360	0,214	0,146
	A	C	0,360	0,187	0,173
	A	T1	0,360	0,144	0,216
	A	T2	0,360	0,307	0,053
	B	C	0,214	0,187	0,026
	B	T1	0,214	0,144	0,070
	B	T2	0,214	0,307	0,094
	C	T1	0,187	0,144	0,043
	C	T2	0,187	0,307	0,120
	T1	T2	0,144	0,307	0,163
1,5 m	A	B	0,582	0,433	0,149
	A	C	0,582	0,192	0,390
	A	T1	0,582	0,148	0,434
	A	T2	0,582	0,311	0,271
	B	C	0,433	0,192	0,241
	B	T1	0,433	0,148	0,285
	B	T2	0,433	0,311	0,122
	C	T1	0,192	0,148	0,044
	C	T2	0,192	0,311	0,119
	T1	T2	0,148	0,311	0,163
2,0 m	A	B	0,498	0,213	0,286
	A	C	0,498	0,184	0,315
	A	T1	0,498	0,146	0,353
	A	T2	0,498	0,274	0,224
	B	C	0,213	0,184	0,029
	B	T1	0,213	0,146	0,067
	B	T2	0,213	0,274	0,062
	C	T1	0,184	0,146	0,038
	C	T2	0,184	0,274	0,091
	T1	T2	0,146	0,274	0,129

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 2ª retirada (t₇)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	0,246828	0,166133167	0,1254813	0,117898833	0,215965333
Erro padrão	0,027895	0,010010185	0,006741953	0,027986856	0,02939105
Mediana	0,224469	0,166795	0,126304	0,0943137	0,1979615
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,068328	0,024519846	0,016514345	0,068553517	0,071993075
Variância da amostra	0,004669	0,000601223	0,000272724	0,004699585	0,005183003
Curtose	5,072889	-0,47672498	2,574475389	5,38985663	3,796711474
Assimetria	2,177998	-0,57322825	-0,72634233	2,268294364	1,836339047
Intervalo	0,189815	0,065001	0,0514582	0,1882849	0,201647
Mínimo	0,193097	0,127657	0,0969908	0,0673221	0,152582
Máximo	0,382912	0,192658	0,148449	0,255607	0,354229
Soma	1,480966	0,996799	0,7528878	0,707393	1,295792
Contagem	6	6	6	6	6
Maior (1)	0,382912	0,192658	0,148449	0,255607	0,354229
Menor (1)	0,193097	0,127657	0,0969908	0,0673221	0,152582
Nível de confiança (95,0%)	0,071706	0,025732	0,017330742	0,071942504	0,075552098

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	0,193097	0,192658	0,0969908	0,0941207	0,217444
0,5 m	0,218233	0,175994	0,148449	0,255607	0,354229
1,0 m	0,220086	0,188703	0,130199	0,0922025	0,182118
1,5 m	0,382912	0,157596	0,124641	0,0945067	0,175614
2,0 m	0,228852	0,154191	0,126501	0,103634	0,213805
Escuro (0,10 m)	0,237786	0,127657	0,126107	0,0673221	0,152582

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	0,794311	0,1588621	0,003441384
0,5 m	5	1,152512	0,2305024	0,006448244
1,0 m	5	0,813309	0,1626617	0,002593143
1,5 m	5	0,93527	0,18705394	0,012954847
2,0 m	5	0,826983	0,1653966	0,002955753
Escuro (0,10 m)	5	0,711454	0,14229082	0,003830403
A	6	1,480966	0,246827667	0,004668716
B	6	0,996799	0,166133167	0,000601223
C	6	0,752888	0,1254813	0,000272724
T1	6	0,707393	0,117898833	0,004699585
T2	6	1,295792	0,215965333	0,005183003

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,023994268	5	0,004798854	1,806389918	0,157352838	2,711
Picos de IF	0,07576312	4	0,01894078	7,129709829	0,000974207	2,866
Erro	0,05313198	20	0,002656599			
Total	0,152889368	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,003
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	0,229

(continuação)

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

Condição de incubação	Pico 1	Pico 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	0,193	0,193	0,000
	A	C	0,193	0,097	0,096
	A	T1	0,193	0,094	0,099
	A	T2	0,193	0,217	0,024
	B	C	0,193	0,097	0,096
	B	T1	0,193	0,094	0,099
	B	T2	0,193	0,217	0,025
	C	T1	0,097	0,094	0,003
	C	T2	0,097	0,217	0,120
	T1	T2	0,094	0,217	0,123
Escuro (0,10 m)	A	B	0,238	0,128	0,110
	A	C	0,238	0,126	0,112
	A	T1	0,238	0,067	0,170
	A	T2	0,238	0,153	0,085
	B	C	0,128	0,126	0,002
	B	T1	0,128	0,067	0,060
	B	T2	0,128	0,153	0,025
	C	T1	0,126	0,067	0,059
	C	T2	0,126	0,153	0,026
	T1	T2	0,067	0,153	0,085
0,5 m	A	B	0,218	0,176	0,042
	A	C	0,218	0,148	0,070
	A	T1	0,218	0,256	0,037
	A	T2	0,218	0,354	0,136
	B	C	0,176	0,148	0,028
	B	T1	0,176	0,256	0,080
	B	T2	0,176	0,354	0,178
	C	T1	0,148	0,256	0,107
	C	T2	0,148	0,354	0,206
	T1	T2	0,256	0,354	0,099
1,0 m	A	B	0,220	0,189	0,031
	A	C	0,220	0,130	0,090
	A	T1	0,220	0,092	0,128
	A	T2	0,220	0,182	0,038
	B	C	0,189	0,130	0,059
	B	T1	0,189	0,092	0,097
	B	T2	0,189	0,182	0,007
	C	T1	0,130	0,092	0,038
	C	T2	0,130	0,182	0,052
	T1	T2	0,092	0,182	0,090
1,5 m	A	B	0,383	0,158	0,225
	A	C	0,383	0,125	0,258
	A	T1	0,383	0,095	0,288
	A	T2	0,383	0,176	0,207
	B	C	0,158	0,125	0,033
	B	T1	0,158	0,095	0,063
	B	T2	0,158	0,176	0,018
	C	T1	0,125	0,095	0,030
	C	T2	0,125	0,176	0,051
	T1	T2	0,095	0,176	0,081
2,0 m	A	B	0,229	0,154	0,075
	A	C	0,229	0,127	0,102
	A	T1	0,229	0,104	0,125
	A	T2	0,229	0,214	0,015
	B	C	0,154	0,127	0,028
	B	T1	0,154	0,104	0,051
	B	T2	0,154	0,214	0,060
	C	T1	0,127	0,104	0,023
	C	T2	0,127	0,214	0,087
	T1	T2	0,104	0,214	0,110

II. MON – Outubro/2019 (Campo II):

Carbono orgânico dissolvido (COD)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t_0 e t_7

	COD (mgL ⁻¹)	
	t_0	t_7
Média	2,153	2,5375
Erro padrão	0	0,17849
Mediana	2,153	2,7055
Moda	2,153	#N/D
Desvio padrão	0	0,437209
Variância da amostra	0	0,191152
Curtose	#DIV/0!	3,599487
Assimetria	#DIV/0!	-1,86869
Intervalo	0	1,138
Mínimo	2,153	1,699
Máximo	2,153	2,837
Soma	12,918	15,225
Contagem	6	6
Maior (1)	2,153	2,837
Menor (1)	2,153	1,699
Nível de confiança (95,0%)	0	0,458822

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t_0 e t_7

DADOS

	COD (mgL ⁻¹)	
	t_0	t_7
Superfície (0,05 m)	2,153	1,699
0,1 m	2,153	2,837
0,5 m	2,153	2,810
1,0 m	2,153	2,601
1,5 m	2,153	2,818
2,0 m	2,153	2,460
Escuro (2,10 m)	2,153	1,699

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	2	3,852	1,926	0,103058
0,1 m	2	4,99	2,495	0,233928
0,5 m	2	4,963	2,4815	0,2158245
1,0 m	2	4,754	2,377	0,100352
1,5 m	2	4,971	2,4855	0,2211125
2,0 m	2	4,613	2,3065	0,0471245
Escuro (2,10 m)	2	3,852	1,926	0,103058
t_0	6	12,918	2,153	0
t_7	6	15,225	2,5375	0,1911515

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,47787875	5	0,09557575	1,000	0,5000000	5,050
Tempo de incubação	0,44352075	1	0,44352075	4,641	0,0838004	6,608
Erro	0,47787875	5	0,09557575			
Total	1,39927825	11				

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t₀, t₂ e t₇

	COD (mgL ⁻¹)		
	t ₀	t ₂	t ₇
Média	2,153	2,7796	2,553
Erro padrão	0	0,252571	0,217778557
Mediana	2,153	2,516	2,81
Moda	2,153	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0	0,564765	0,486967658
Variância da amostra	0	0,318959	0,2371375
Curtose	#DIV/0!	2,6723	4,174677665
Assimetria	#DIV/0!	1,686556	-2,03586151
Intervalo	0	1,362	1,138
Mínimo	2,153	2,369	1,699
Máximo	2,153	3,731	2,837
Soma	10,765	13,898	12,765
Contagem	5	5	5
Maior (1)	2,153	3,731	2,837
Menor (1)	2,153	2,369	1,699
Nível de confiança (95,0%)	0	0,701248	0,604650209

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t₀, t₂ e t₇

DADOS

	COD (mgL ⁻¹)		
	t ₀	t ₂	t ₇
Superfície (0,05 m)	2,153	3,731	1,699
0,5 m	2,153	2,516	2,837
1,0 m	2,153	2,424	2,810
1,5 m	2,153	2,369	2,601
2,0 m	2,153	2,858	2,818

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	3	7,583	2,527666667	1,137537333
0,5 m	3	7,506	2,502	0,117111
1,0 m	3	7,387	2,462333333	0,109014333
1,5 m	3	7,123	2,374333333	0,050197333
2,0 m	3	7,829	2,609666667	0,156808333
t ₀	5	10,765	2,153	0
t ₂	5	13,898	2,7796	0,3189593
t ₇	5	12,765	2,553	0,2371375

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,08967573	4	0,022418933	0,084	0,99	3,838
Tempo de incubação	1,0066252	2	0,5033126	1,886	0,21	4,459
Erro	2,13471147	8	0,266838933			
Total	3,2310124	14				

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 1ª retirada (t₂)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	0,3299298	0,5346132	0,06279686	0,13061762	0,3613682
Erro padrão	0,088416811	0,313047673	0,02761537	0,047939976	0,179785828
Mediana	0,35232	0,347587	0,0319618	0,0851891	0,234375
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,197706	0,699995877	0,061749844	0,107197046	0,402013333
Variância da amostra	0,039087663	0,489994228	0,003813043	0,011491207	0,16161472
Curtose	-0,66791375	3,68265601	-1,82293174	-2,24338181	3,247681776
Assimetria	-0,32759914	1,859319391	0,640304371	0,11419808	1,679099452
Intervalo	0,509365	1,74275	0,146712	0,246956	1,04352
Mínimo	0,058547	0	0	0	0
Máximo	0,567912	1,74275	0,146712	0,246956	1,04352
Soma	1,649649	2,673066	0,3139843	0,6530881	1,806841
Contagem	5	5	5	5	5
Maior (1)	0,567912	1,74275	0,146712	0,246956	1,04352
Menor (1)	0,058547	0	0	0	0
Nível de confiança (95,0%)	0,245484423	0,869159679	0,076672558	0,133102712	0,499165482

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	0,2225	0,4664	0,0320	0,0846	0,1761
0,5 m	0,4484	0,1164	0,1081	0,0852	0,2344
1,0 m	0,3523	1,7428	0,1467	0,2470	1,0435
1,5 m	0,0585	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0 m	0,5679	0,3476	0,0272	0,2364	0,3529

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	0,9814588	0,19629176	0,028381221
0,5 m	5	0,9923701	0,19847402	0,02286969
1,0 m	5	3,532258	0,7064516	0,459345824
1,5 m	5	0,058547	0,0117094	0,00068555
2,0 m	5	1,5319945	0,3063989	0,038771924
A	5	1,649649	0,3299298	0,039087663
B	5	2,673066	0,5346132	0,489994228
C	5	0,3139843	0,06279686	0,003813043
T1	5	0,6530881	0,13061762	0,011491207
T2	5	1,806841	0,3613682	0,16161472

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	1,340582868	4	0,335145717	3,615	0,03	3,007
Picos de IF	0,716796268	4	0,179199067	1,933	0,15	3,007
Erro	1,483420571	16	0,092713786			
Total	3,540799707	24				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,093
Tratamentos (picos)	5
gl _{ERRO}	16
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,33
DMS	1,318

(continuação)

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	2	ΔIF
A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,223	0,448	0,226
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,223	0,352	0,130
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,223	0,059	0,164
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,223	0,568	0,345
	0,5 m	1,0 m	0,448	0,352	0,096
	0,5 m	1,5 m	0,448	0,059	0,390
	0,5 m	2,0 m	0,448	0,568	0,120
	1,0 m	1,5 m	0,352	0,059	0,294
	1,0 m	2,0 m	0,352	0,568	0,216
	1,5 m	2,0 m	0,059	0,568	0,509
B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,466	0,116	0,350
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,466	1,743	1,276
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,466	0,000	0,466
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,466	0,348	0,119
	0,5 m	1,0 m	0,116	1,743	1,626
	0,5 m	1,5 m	0,116	0,000	0,116
	0,5 m	2,0 m	0,116	0,348	0,231
	1,0 m	1,5 m	1,743	0,000	1,743
	1,0 m	2,0 m	1,743	0,348	1,395
	1,5 m	2,0 m	0,000	0,348	0,348
C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,032	0,108	0,076
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,032	0,147	0,115
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,032	0,000	0,032
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,032	0,027	0,005
	0,5 m	1,0 m	0,108	0,147	0,039
	0,5 m	1,5 m	0,108	0,000	0,108
	0,5 m	2,0 m	0,108	0,027	0,081
	1,0 m	1,5 m	0,147	0,000	0,147
	1,0 m	2,0 m	0,147	0,027	0,119
	1,5 m	2,0 m	0,000	0,000	0,000
T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,085	0,085	0,001
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,085	0,247	0,162
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,085	0,000	0,085
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,085	0,236	0,152
	0,5 m	1,0 m	0,085	0,247	0,162
	0,5 m	1,5 m	0,085	0,000	0,085
	0,5 m	2,0 m	0,085	0,236	0,151
	1,0 m	1,5 m	0,247	0,000	0,247
	1,0 m	2,0 m	0,247	0,236	0,011
	1,5 m	2,0 m	0,000	0,236	0,236
T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,176	0,234	0,058
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,176	1,044	0,867
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,176	0,000	0,176
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,176	0,353	0,177
	0,5 m	1,0 m	0,234	1,044	0,809
	0,5 m	1,5 m	0,234	0,000	0,234
	0,5 m	2,0 m	0,234	0,353	0,119
	1,0 m	1,5 m	1,044	0,000	1,044
	1,0 m	2,0 m	1,044	0,353	0,691
	1,5 m	2,0 m	0,000	0,353	0,353

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 2ª retirada (t₇)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	0,0407854	0,020058534	0,025851129	0,015705289	0,04526556
Erro padrão	0,0407854	0,018361031	0,02569485	0,013922885	0,02453598
Mediana	0	0,00223531	0,000174322	0,00196571	0,021475
Moda	0	0,00106589	0	0,000768647	0,021475
Desvio padrão	0,091198927	0,041056513	0,057455432	0,031132518	0,05486412
Variância da amostra	0,008317244	0,001685637	0,003301127	0,000969234	0,003010072
Curtose	5	4,995175685	4,99979346	4,970605531	4,994940102
Assimetria	2,236067977	2,234720008	2,236010346	2,22799998	2,234641467
Intervalo	0,203927	0,09242791	0,12863	0,070587653	0,1240617
Mínimo	0	0,00106589	0	0,000768647	0,0193353
Máximo	0,203927	0,0934938	0,12863	0,0713563	0,143397
Soma	0,203927	0,10029267	0,129255647	0,078526444	0,2263278
Contagem	5	5	5	5	5
Maior (1)	0,203927	0,0934938	0,12863	0,0713563	0,143397
Menor (1)	0	0,00106589	0	0,000768647	0,0193353
Nível de confiança (95,0%)	0,113238424	0,050978394	0,071340341	0,038656126	0,068122803

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	0,0000	0,0011	0,0000	0,0008	0,0215
0,5 m	0,0000	0,0022	0,0005	0,0037	0,0206
1,0 m	0,0000	0,0024	0,0002	0,0020	0,0193
2,0 m	0,0000	0,0011	0,0000	0,0008	0,0215
Escuro (2,10 m)	0,2039	0,0935	0,1286	0,0714	0,1434

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	0,023309537	0,004661907	0,000088559
0,5 m	5	0,026999275	0,005399855	0,000074773
1,0 m	5	0,023907112	0,004781422	0,000067338
1,5 m	5	0,023309537	0,004661907	0,000088559
Escuro (2,10 m)	5	0,6408041	0,12816082	0,002600358
A	5	0,203927	0,0407854	0,008317244
B	5	0,10029267	0,020058534	0,001685637
C	5	0,129255647	0,025851129	0,003301127
T1	5	0,078526444	0,015705289	0,000969234
T2	5	0,2263278	0,04526556	0,003010072

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,060798193	4	0,015199548	29,177	3,59E-07	3,007
Picos de IF	0,003343286	4	0,000835822	1,604	0,22	3,007
Erro	0,008335061	16	0,000520941			
Total	0,07247654	24				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,001
Tratamentos (condições de incubação)	5
gl _{ERRO}	16
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,33
DMS	0,0988

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	2	ΔIF
A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,0000	0,0000	0,0000
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,2039	0,2039
	0,5 m	1,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	0,5 m	2,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,2039	0,2039
	1,0 m	2,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,2039	0,2039
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,2039	0,2039
B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,0011	0,0022	0,0012
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,0011	0,0024	0,0014
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,0011	0,0011	0,0000
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,0011	0,0935	0,0924
	0,5 m	1,0 m	0,0022	0,0024	0,0002
	0,5 m	2,0 m	0,0022	0,0011	0,0012
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,0022	0,0935	0,0913
	1,0 m	2,0 m	0,0024	0,0011	0,0014
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0024	0,0935	0,0911
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0011	0,0935	0,0924
C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,0000	0,0005	0,0005
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,0000	0,0002	0,0002
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,0000	0,0000	0,0000
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,1286	0,1286
	0,5 m	1,0 m	0,0005	0,0002	0,0003
	0,5 m	2,0 m	0,0005	0,0000	0,0005
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,0005	0,1286	0,1282
	1,0 m	2,0 m	0,0002	0,0000	0,0002
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0002	0,1286	0,1285
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0000	0,1286	0,1286
T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,0008	0,0037	0,0029
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,0008	0,0020	0,0012
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,0008	0,0008	0,0000
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,0008	0,0714	0,0706
	0,5 m	1,0 m	0,0037	0,0020	0,0017
	0,5 m	2,0 m	0,0037	0,0008	0,0029
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,0037	0,0714	0,0677
	1,0 m	2,0 m	0,0020	0,0008	0,0012
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0020	0,0714	0,0694
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0008	0,0714	0,0706
T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,0215	0,0206	0,0008
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,0215	0,0193	0,0021
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,0215	0,0215	0,0000
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,0215	0,1434	0,1219
	0,5 m	1,0 m	0,0206	0,0193	0,0013
	0,5 m	2,0 m	0,0206	0,0215	0,0008
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,0206	0,1434	0,1228
	1,0 m	2,0 m	0,0193	0,0215	0,0021
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0193	0,1434	0,1241
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,0215	0,1434	0,1219

III. MON + AH [Outubro/2019 (Campo II)]:

Carbono orgânico dissolvido (COD)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t_0 , t_2 e t_7

	COD (mgL ⁻¹)		
	t_0	t_2	t_7
Média	4,8	5,587667	4,338667
Erro padrão	0	0,09555	0,370069
Mediana	4,8	5,667	4,5185
Moda	4,8	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0	0,234048	0,90648
Variância da amostra	0	0,054779	0,821705
Curtose	#DIV/0!	3,192186	0,42969
Assimetria	#DIV/0!	-1,75409	-0,98725
Intervalo	0	0,637	2,394
Mínimo	4,8	5,145	2,814
Máximo	4,8	5,782	5,208
Soma	28,8	33,526	26,032
Contagem	6	6	6
Maior (1)	4,8	5,782	5,208
Menor (1)	4,8	5,145	2,814
Nível de confiança (95,0%)	0	0,245619	0,951292

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t_0 , t_2 e t_7

DADOS						
	COD (mgL ⁻¹)					
	t ₀	t ₂	t ₇			
Superfície (0,05 m)	4,800	5,145	2,814			
0,5 m	4,800	5,646	5,125			
1,0 m	4,800	5,782	3,848			
1,5 m	4,800	5,739	5,208			
2,0 m	4,800	5,526	4,747			
Escuro (2,10 m)	4,800	5,688	4,290			
RESUMO						
	Contagem	Soma	Média	Variância		
Superfície (0,05 m)	3	12,759	4,253	1,582797		
0,5 m	3	15,571	5,190333333	0,182130333		
1,0 m	3	14,43	4,81	0,935164		
1,5 m	3	15,747	5,249	0,221691		
2,0 m	3	15,073	5,024333333	0,189454333		
Escuro (2,10 m)	3	14,778	4,926	0,500508		
t ₀	6	28,8	4,8	0		
t ₂	6	33,526	5,587666667	0,054778667		
t ₇	6	26,032	4,338666667	0,821705467		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	1,945427778	5	0,389085556	1,597	0,24709	3,326
Tempo de incubação	4,786496444	2	2,393248222	9,820	0,00437	4,103
Erro	2,436992889	10	0,243699289			
Total	9,168917111	17				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,244
Tratamentos (tempos de incubação)	3
gl _{ERRO}	10
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	3,88
DMS	0,359

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

	TEMPO		COD (mgL ⁻¹)		
	1	2	Concentração 1	Concentração 2	ΔCOD
Superfície (0,05 m)	t0	t2	4,800	5,145	0,345
	t0	t7	4,800	2,814	1,986
	t2	t7	5,145	2,814	2,331
0,1 m	t0	t2	4,800	5,646	0,846
	t0	t7	4,800	5,125	0,325
	t2	t7	5,646	5,125	0,521
0,5 m	t0	t2	4,800	5,782	0,982
	t0	t7	4,800	3,848	0,952
	t2	t7	5,782	3,848	1,934
1,0 m	t0	t2	4,800	5,739	0,939
	t0	t7	4,800	5,208	0,408
	t2	t7	5,739	5,208	0,531
1,5 m	t0	t2	4,800	5,526	0,726
	t0	t7	4,800	4,747	0,053
	t2	t7	5,526	4,747	0,779
2,0 m	t0	t2	4,800	5,688	0,888
	t0	t7	4,800	4,290	0,510
	t2	t7	5,688	4,290	1,398
Escuro (2,10 m)	t0	t2	4,800	5,145	0,345
	t0	t7	4,800	2,814	1,986
	t2	t7	5,145	2,814	2,331

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 1ª retirada (t₂)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	1,1117614	0,0832807	0,6436236	0,127058	0,2438602
Erro padrão	0,116324829	0,008889199	0,066462359	0,009209451	0,024838553
Mediana	1,19388	0,0763376	0,687174	0,123478	0,261764
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,260110225	0,019876853	0,148614352	0,020592959	0,055540692
Variância da amostra	0,067657329	0,000395089	0,022086226	0,00042407	0,003084768
Curtose	4,106131292	-0,62962022	4,38342749	-1,94483592	2,957073122
Assimetria	-1,97413992	0,716465248	-2,060515718	-0,10392667	-1,651580804
Intervalo	0,646793	0,0500144	0,359784	0,047702	0,141659
Mínimo	0,657557	0,0619826	0,382014	0,100655	0,150135
Máximo	1,30435	0,111997	0,741798	0,148357	0,291794
Soma	5,558807	0,4164035	3,218118	0,63529	1,219301
Contagem	5	5	5	5	5
Maior (1)	1,30435	0,111997	0,741798	0,148357	0,291794
Menor (1)	0,657557	0,0619826	0,382014	0,100655	0,150135
Nível de confiança (95,0%)	0,322969502	0,024680373	0,184529091	0,025569535	0,068962878

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS						
	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)					
	A	B	C	T1	T2	
Superfície (0,05 m)	1,19388	0,111997	0,679232	0,148357	0,291794	
0,5 m	1,15469	0,0943082	0,7279	0,147132	0,274351	
1,0 m	1,30435	0,0763376	0,741798	0,123478	0,241257	
1,5 m	1,24833	0,0717781	0,6871740000	0,115668	0,261764	
2,0 m	0,657557	0,0619826	0,382014	0,100655	0,150135	
Escuro (2,10 m)	1,04935	0,0822967	0,688233	0,107583	0,224828	
RESUMO						
	Contagem	Soma	Média	Variância		
Superfície (0,05 m)	5	2,42526	0,485052	0,207506304		
0,5 m	5	2,3983812	0,47967624	0,204627816		
1,0 m	5	2,4872206	0,49744412	0,273404780		
1,5 m	5	2,3847141	0,47694282	0,245053800		
2,0 m	5	1,3523436	0,27046872	0,062265763		
Escuro (2,10 m)	5	2,1522907	0,43045814	0,179305878		
A	6	6,608157	1,1013595	0,054775061		
B	6	0,4987002	0,0831167	0,000316233		
C	6	3,906351	0,6510585	0,018000647		
T1	6	0,742873	0,123812167	0,000402469		
T2	6	1,444129	0,240688167	0,002528186		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	0,185501936	5	0,037100387	3,813	0,0137524	2,711
Picos de IF	4,494046327	4	1,123511582	115,462	0,0000000	2,866
Erro	0,194611036	20	0,009730552			
Total	4,874159299	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)	
MQ _{ERRO}	0,010
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	0,439

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS					
PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Pico A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	1,194	1,155	0,039
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	1,194	1,304	0,110
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	1,194	1,248	0,054
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	1,194	0,658	0,536
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	1,194	1,049	0,145
	0,5 m	1,0 m	1,155	1,304	0,150
	0,5 m	1,5 m	1,155	1,248	0,094
	0,5 m	2,0 m	1,155	0,658	0,497
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	1,155	1,049	0,105
	1,0 m	1,5 m	1,304	1,248	0,056
	1,0 m	2,0 m	1,304	0,658	0,647
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	1,304	1,049	0,255
	1,5 m	2,0 m	1,248	0,658	0,591
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	1,248	1,049	0,199
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,658	1,049	0,392

(continuação)

Pico B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,112	0,094	0,018
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,112	0,076	0,036
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,112	0,072	0,040
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,112	0,062	0,050
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,112	0,082	0,030
	0,5 m	1,0 m	0,094	0,076	0,018
	0,5 m	1,5 m	0,094	0,072	0,023
	0,5 m	2,0 m	0,094	0,062	0,032
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,094	0,082	0,012
	1,0 m	1,5 m	0,076	0,072	0,005
	1,0 m	2,0 m	0,076	0,062	0,014
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,076	0,082	0,006
	1,5 m	2,0 m	0,072	0,062	0,010
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,072	0,082	0,011
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,062	0,082	0,020
Pico C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,679	0,728	0,049
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,679	0,742	0,063
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,679	0,687	0,008
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,679	0,382	0,297
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,679	0,688	0,009
	0,5 m	1,0 m	0,728	0,742	0,014
	0,5 m	1,5 m	0,728	0,687	0,041
	0,5 m	2,0 m	0,728	0,382	0,346
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,728	0,688	0,040
	1,0 m	1,5 m	0,742	0,687	0,055
	1,0 m	2,0 m	0,742	0,382	0,360
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,742	0,688	0,054
	1,5 m	2,0 m	0,687	0,687	0,000
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,687	0,382	0,305
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,687	0,382	0,305
Pico T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,148	0,147	0,001
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,148	0,123	0,025
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,148	0,116	0,033
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,148	0,101	0,048
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,148	0,108	0,041
	0,5 m	1,0 m	0,147	0,123	0,024
	0,5 m	1,5 m	0,147	0,116	0,031
	0,5 m	2,0 m	0,147	0,101	0,046
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,147	0,108	0,040
	1,0 m	1,5 m	0,123	0,116	0,008
	1,0 m	2,0 m	0,123	0,101	0,023
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,123	0,108	0,016
	1,5 m	2,0 m	0,116	0,101	0,015
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,116	0,108	0,008
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,101	0,108	0,007
Pico T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,292	0,274	0,017
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,292	0,241	0,051
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,292	0,262	0,030
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,292	0,150	0,142
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,292	0,225	0,067
	0,5 m	1,0 m	0,274	0,241	0,033
	0,5 m	1,5 m	0,274	0,262	0,013
	0,5 m	2,0 m	0,274	0,150	0,124
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,274	0,225	0,050
	1,0 m	1,5 m	0,241	0,262	0,021
	1,0 m	2,0 m	0,241	0,150	0,091
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,241	0,225	0,016
	1,5 m	2,0 m	0,262	0,150	0,112
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,262	0,225	0,037
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,150	0,225	0,075

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,010
Tratamentos (picos)	5
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudatizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,23
DMS	0,417

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	PICO 1	PICO 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	1,194	0,112	1,082
	A	C	1,194	0,679	0,515
	A	T1	1,194	0,148	1,046
	A	T2	1,194	0,292	0,902
	B	C	0,112	0,679	0,567
	B	T1	0,112	0,148	0,036
	B	T2	0,112	0,292	0,180
	C	T1	0,679	0,148	0,531
	C	T2	0,679	0,292	0,387
	T1	T2	0,148	0,292	0,143
0,5 m	A	B	1,155	0,094	1,060
	A	C	1,155	0,728	0,427
	A	T1	1,155	0,147	1,008
	A	T2	1,155	0,274	0,880
	B	C	0,094	0,728	0,634
	B	T1	0,094	0,147	0,053
	B	T2	0,094	0,274	0,180
	C	T1	0,728	0,147	0,581
	C	T2	0,728	0,274	0,454
	T1	T2	0,147	0,274	0,127
1,0 m	A	B	1,304	0,076	1,228
	A	C	1,304	0,742	0,563
	A	T1	1,304	0,123	1,181
	A	T2	1,304	0,241	1,063
	B	C	0,076	0,742	0,665
	B	T1	0,076	0,123	0,047
	B	T2	0,076	0,241	0,165
	C	T1	0,742	0,123	0,618
	C	T2	0,742	0,241	0,501
	T1	T2	0,123	0,241	0,118
1,5 m	A	B	1,248	0,072	1,177
	A	C	1,248	0,687	0,561
	A	T1	1,248	0,116	1,133
	A	T2	1,248	0,262	0,987
	B	C	0,072	0,687	0,615
	B	T1	0,072	0,116	0,044
	B	T2	0,072	0,262	0,190
	C	T1	0,687	0,116	0,572
	C	T2	0,687	0,262	0,425
	T1	T2	0,116	0,262	0,146
2,0 m	A	B	0,658	0,062	0,596
	A	C	0,658	0,382	0,276
	A	T1	0,658	0,101	0,557
	A	T2	0,658	0,150	0,507
	B	C	0,062	0,382	0,320
	B	T1	0,062	0,101	0,039
	B	T2	0,062	0,150	0,088
	C	T1	0,382	0,101	0,281
	C	T2	0,382	0,150	0,232
	T1	T2	0,101	0,150	0,049

(continuação)

Escuro (0,10 m)	A	B	1,049	0,082	0,967
	A	C	1,049	0,688	0,361
	A	T1	1,049	0,108	0,942
	A	T2	1,049	0,225	0,825
	B	C	0,082	0,688	0,606
	B	T1	0,082	0,108	0,025
	B	T2	0,082	0,225	0,143
	C	T1	0,688	0,108	0,581
	C	T2	0,688	0,225	0,463
	T1	T2	0,108	0,225	0,117

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 2ª retirada (t₇)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	1,0670285	0,132703392	0,55866215	0,126301632	0,229958017
Erro padrão	0,243903384	0,039857284	0,111907864	0,026652226	0,047625712
Mediana	1,13812	0,1216565	0,6567925	0,1401825	0,2365645
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	0,597438837	0,097630009	0,274117166	0,065284354	0,116658693
Variância da amostra	0,356933164	0,009531619	0,07514022	0,004262047	0,013609251
Curtose	2,249880558	0,704820865	5,800057231	3,333168132	2,308114764
Assimetria	-1,17132285	0,573669027	-2,392753222	-1,67846364	-1,127218119
Intervalo	1,76159	0,28509705	0,7215071	0,18506921	0,3469809
Mínimo	0	0,00535795	0,0019189	0,00301879	0,0220641
Máximo	1,76159	0,290455	0,723426	0,188088	0,369045
Soma	6,402171	0,79622035	3,3519729	0,75780979	1,3797481
Contagem	6	6	6	6	6
Maior (1)	1,76159	0,290455	0,723426	0,188088	0,369045
Menor (1)	0	0,00535795	0,0019189	0,00301879	0,0220641
Nível de confiança (95,0%)	0,626973608	0,102456411	0,287668323	0,068511728	0,12242579

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	0	0,00535795	0,0019189	0,00301879	0,0220641
0,5 m	1,18021	0,184565	0,655103	0,149696	0,217182
1,0 m	1,09603	0,0725294	0,665827	0,1191	0,219888
1,5 m	0,933641	0,122384	0,6472160000	0,130669	0,253241
2,0 m	1,76159	0,120929	0,723426	0,167238	0,298328
Escuro (2,10 m)	1,4307	0,290455	0,658482	0,188088	0,369045

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	0,03235974	0,006471948	0,000079724
0,5 m	5	2,386756	0,4773512	0,196593974
1,0 m	5	2,1733744	0,43467488	0,191923039
1,5 m	5	2,087151	0,4174302	0,128879361
2,0 m	5	3,071511	0,6143022	0,467825127
Escuro (2,10 m)	5	2,93677	0,587354	0,252878211
A	6	6,402171	1,0670285	0,356933164
B	6	0,79622035	0,132703392	0,009531619
C	6	3,3519729	0,55866215	0,07514022
T1	6	0,75780979	0,126301632	0,004262047
T2	6	1,3797481	0,229958017	0,013609251

(continuação)

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	1,201128684	5	0,240225737	4,383	0,01	2,711
Picos de IF	3,856464922	4	0,964116231	17,589	2,48E-06	2,866
Erro	1,09625282	20	0,054812641			
Total	6,153846426	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,055
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	1,042

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Pico A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,000	1,180	1,180
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,000	1,096	1,096
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,000	0,934	0,934
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,000	1,762	1,762
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,000	1,431	1,431
	0,5 m	1,0 m	1,180	1,096	0,084
	0,5 m	1,5 m	1,180	0,934	0,247
	0,5 m	2,0 m	1,180	1,762	0,581
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	1,180	1,431	0,250
	1,0 m	1,5 m	1,096	0,934	0,162
	1,0 m	2,0 m	1,096	1,762	0,666
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	1,096	1,431	0,335
	1,5 m	2,0 m	0,934	1,762	0,828
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,934	1,431	0,497
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	1,762	1,431	0,331
Pico B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,005	0,185	0,179
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,005	0,073	0,067
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,005	0,122	0,117
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,005	0,121	0,116
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,005	0,290	0,285
	0,5 m	1,0 m	0,185	0,073	0,112
	0,5 m	1,5 m	0,185	0,122	0,062
	0,5 m	2,0 m	0,185	0,121	0,064
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,185	0,290	0,106
	1,0 m	1,5 m	0,073	0,122	0,050
	1,0 m	2,0 m	0,073	0,121	0,048
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,073	0,290	0,218
	1,5 m	2,0 m	0,122	0,121	0,001
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,122	0,290	0,168
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,121	0,290	0,170

(continuação)					
Pico C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,002	0,655	0,653
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,002	0,666	0,664
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,002	0,647	0,645
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,002	0,723	0,722
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,002	0,658	0,657
	0,5 m	1,0 m	0,655	0,666	0,011
	0,5 m	1,5 m	0,655	0,647	0,008
	0,5 m	2,0 m	0,655	0,723	0,068
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,655	0,658	0,003
	1,0 m	1,5 m	0,666	0,647	0,019
	1,0 m	2,0 m	0,666	0,723	0,058
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,666	0,658	0,007
	1,5 m	2,0 m	0,647	0,723	0,076
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,647	0,658	0,011
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,723	0,658	0,065
Pico T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,003	0,150	0,147
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,003	0,119	0,116
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,003	0,131	0,128
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,003	0,167	0,164
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,003	0,188	0,185
	0,5 m	1,0 m	0,150	0,119	0,031
	0,5 m	1,5 m	0,150	0,131	0,019
	0,5 m	2,0 m	0,150	0,167	0,018
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,150	0,188	0,038
	1,0 m	1,5 m	0,119	0,131	0,012
	1,0 m	2,0 m	0,119	0,167	0,048
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,119	0,188	0,069
	1,5 m	2,0 m	0,131	0,167	0,037
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,131	0,188	0,057
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,167	0,188	0,021
Pico T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,022	0,217	0,195
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,022	0,220	0,198
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,022	0,253	0,231
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,022	0,298	0,276
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,022	0,369	0,347
	0,5 m	1,0 m	0,217	0,220	0,003
	0,5 m	1,5 m	0,217	0,253	0,036
	0,5 m	2,0 m	0,217	0,298	0,081
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,217	0,369	0,152
	1,0 m	1,5 m	0,220	0,253	0,033
	1,0 m	2,0 m	0,220	0,298	0,078
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,220	0,369	0,149
	1,5 m	2,0 m	0,253	0,298	0,045
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,253	0,369	0,116
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,298	0,369	0,071

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,055
Tratamentos (picos)	5
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudantizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,23
DMS	0,990

(continuação)

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS					
CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	PICO 1	PICO 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	0,000	0,005	0,005
	A	C	0,000	0,002	0,002
	A	T1	0,000	0,003	0,003
	A	T2	0,000	0,022	0,022
	B	C	0,005	0,002	0,003
	B	T1	0,005	0,003	0,002
	B	T2	0,005	0,022	0,017
	C	T1	0,002	0,003	0,001
	C	T2	0,002	0,022	0,020
	T1	T2	0,003	0,022	0,019
0,5 m	A	B	1,180	0,185	0,996
	A	C	1,180	0,655	0,525
	A	T1	1,180	0,150	1,031
	A	T2	1,180	0,217	0,963
	B	C	0,185	0,655	0,471
	B	T1	0,185	0,150	0,035
	B	T2	0,185	0,217	0,033
	C	T1	0,655	0,150	0,505
	C	T2	0,655	0,217	0,438
	T1	T2	0,150	0,217	0,067
1,0 m	A	B	1,096	0,073	1,024
	A	C	1,096	0,666	0,430
	A	T1	1,096	0,119	0,977
	A	T2	1,096	0,22	0,876
	B	C	0,073	0,666	0,593
	B	T1	0,073	0,119	0,047
	B	T2	0,073	0,22	0,147
	C	T1	0,666	0,119	0,547
	C	T2	0,666	0,22	0,446
	T1	T2	0,119	0,22	0,101
1,5 m	A	B	0,934	0,122	0,811
	A	C	0,934	0,647	0,286
	A	T1	0,934	0,131	0,803
	A	T2	0,934	0,253	0,680
	B	C	0,122	0,647	0,525
	B	T1	0,122	0,131	0,008
	B	T2	0,122	0,253	0,131
	C	T1	0,647	0,131	0,517
	C	T2	0,647	0,253	0,394
	T1	T2	0,131	0,253	0,123
2,0 m	A	B	1,762	0,121	1,641
	A	C	1,762	0,723	1,038
	A	T1	1,762	0,167	1,594
	A	T2	1,762	0,298	1,463
	B	C	0,121	0,723	0,602
	B	T1	0,121	0,167	0,046
	B	T2	0,121	0,298	0,177
	C	T1	0,723	0,167	0,556
	C	T2	0,723	0,298	0,425
	T1	T2	0,167	0,298	0,131
Escuro (0,10 m)	A	B	1,431	0,290	1,140
	A	C	1,431	0,658	0,772
	A	T1	1,431	0,188	1,243
	A	T2	1,431	0,369	1,062
	B	C	0,290	0,658	0,368
	B	T1	0,290	0,188	0,102
	B	T2	0,290	0,369	0,079
	C	T1	0,658	0,188	0,470
	C	T2	0,658	0,369	0,289
	T1	T2	0,188	0,369	0,181

IV. MON + A+Tyr+Trp [Outubro/2019 (Campo II)]:

Carbono orgânico dissolvido (COD)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA – t_0 , t_2 e t_7

	COD (mgL ⁻¹)		
	t_0	t_2	t_7
Média	20,150	20,770	16,096
Erro padrão	0,000	0,242	0,384
Mediana	20,150	20,765	15,740
Moda	20,150	20,360	15,280
Desvio padrão	0,000	0,592	0,940
Variância da amostra	0,000	0,350	0,883
Curtose	-3,333	-2,542	-1,675
Assimetria	-1,369	-0,116	0,778
Intervalo	0,000	1,400	2,140
Mínimo	20,150	20,020	15,280
Máximo	20,150	21,420	17,420
Soma	120,900	124,620	96,573
Contagem	6,000	6,000	6,000
Maior (1)	20,150	21,420	17,420
Menor (1)	20,150	20,020	15,280
Nível de confiança (95,0%)	0,000	0,621	0,986

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO – t_0 , t_2 e t_7

DADOS

	COD (mgL ⁻¹)		
	t_0	t_2	t_7
Superfície (0,05 m)	20,150	20,360	15,280
0,5 m	20,150	21,170	17,420
1,0 m	20,150	20,360	15,280
1,5 m	20,150	21,420	17,113
2,0 m	20,150	21,290	15,590
Escuro (2,10 m)	20,150	20,020	15,890

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)		55,79	18,59666667	8,261233333
0,5 m	3	58,74	19,58	3,7593
1,0 m	3	55,79	18,59666667	8,261233333
1,5 m	3	58,683	19,561	4,897753
2,0 m	3	57,03	19,01	9,0972
Escuro (2,10 m)	3	56,06	18,68666667	5,870233333
t_0	6	120,9	20,15	1,5E-29
t_2	6	124,62	20,77	0,35032
t_7	6	96,573	16,0955	0,8834895

ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	3,2237825	5	0,6447565	2,189	0,14	3,326
Tempo de incubação	77,348641	2	38,6743205	131,310	6,64E-08	4,103
Erro	2,945265	10	0,2945265			
Total	83,5176885	17	83,5176885			

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	0,295
Tratamentos (tempos de incubação)	3
gl _{ERRO}	10
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudada (q) ao nível de 5% de probabilidade	3,88
DMS	2,106

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

	TEMPO		COD (mgL ⁻¹)		
	1	2	Concentração 1	Concentração 2	ΔCOD
Superfície (0,05 m)	t0	t2	20,150	20,360	0,210
	t0	t7	20,150	15,280	4,870
	t2	t7	20,360	15,280	5,080
0,1 m	t0	t2	20,150	21,170	1,020
	t0	t7	20,150	17,420	2,730
	t2	t7	21,170	17,420	3,750
0,5 m	t0	t2	20,150	20,360	0,210
	t0	t7	20,150	15,280	4,870
	t2	t7	20,360	15,280	5,080
1,0 m	t0	t2	20,150	21,420	1,270
	t0	t7	20,150	17,113	3,037
	t2	t7	21,420	17,113	4,307
1,5 m	t0	t2	20,150	21,290	1,140
	t0	t7	20,150	15,590	4,560
	t2	t7	21,290	15,590	5,700
2,0 m	t0	t2	20,150	20,020	0,130
	t0	t7	20,150	15,890	4,260
	t2	t7	20,020	15,890	4,130
Escuro (2,10 m)	t0	t2	20,150	20,020	0,130
	t0	t7	20,150	15,890	4,260
	t2	t7	20,020	15,890	4,130

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 1ª retirada (t₂)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	61,74840833	80,16498333	0,125176058	68,621245	116,2352667
Erro padrão	11,14401208	5,583880955	0,043264078	16,5737096	22,22544239
Mediana	62,9395	76,96395	0,088042586	75,5507	113,4245
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	27,29714328	13,67765913	0,105974915	40,59713168	54,44099315
Variância da amostra	745,1340314	187,0783591	0,011230683	1648,1271	2963,821736
Curtose	-1,52177105	0,447053256	0,357940018	-1,43190375	1,796117107
Assimetria	-0,20231921	0,328995368	1,143163153	-0,50836312	-0,388977838
Intervalo	70,4398	40,0815	0,271934329	98,87883	167,3889
Mínimo	24,065	61,0305	0,032615616	9,57717	27,1941
Máximo	94,5048	101,112	0,304549945	108,456	194,583
Soma	370,49045	480,9899	0,751056347	411,72747	697,4116
Contagem	6	6	6	6	6
Maior (1)	94,5048	101,112	0,304549945	108,456	194,583
Menor (1)	24,065	61,0305	0,032615616	9,57717	27,1941
Nível de confiança (95,0%)	28,64659503	14,35382296	0,111213853	42,60407686	57,13231849

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS						
	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)					
	A	B	C	T1	T2	
Superfície (0,05 m)	24,065	76,1364	0,032615616	9,57717	27,1941	
0,5 m	40,05865	61,0305	0,043221068	34,2614	141,764	
1,0 m	94,5048	101,112	0,064388425	88,0824	194,583	
1,5 m	53,6645	75,4565	0,111696748	63,019	107,0215	
2,0 m	72,2145	89,463	0,304549945	108,456	113,3975	
Escuro (2,10 m)	85,983	77,7915	0,194584546	108,3315	113,4515	
RESUMO						
	Contagem	Soma	Média	Variância		
Superfície (0,05 m)	5	137,0052856	27,40105712	863,2570741		
0,5 m	5	277,1577711	55,43155421	2809,252113		
1,0 m	5	478,3465884	95,66931768	4753,189815		
1,5 m	5	299,2731967	59,85463935	1521,420248		
2,0 m	5	383,8355499	76,76710999	2093,601548		
Escuro (2,10 m)	5	385,7520845	77,15041691	2072,663556		
A	6	370,49045	61,74840833	745,1340314		
B	6	480,9899	80,16498333	187,0783591		
C	6	0,751056347	0,125176058	0,011230683		
T1	6	411,72747	68,621245	1648,1271		
T2	6	697,4116	116,2352667	2963,821736		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	13787,76517	5	2757,553034	3,958	0,01	2,711
Picos de IF	42520,4403	4	10630,11007	15,259	7,16E-06	2,866
Erro	13933,09712	20	696,6548558			
Total	70241,30259	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)	
MQ _{ERRO}	696,655
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	117,454

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Pico A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	24,065	40,059	15,994
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	24,065	94,505	70,440
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	24,065	53,665	29,600
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	24,065	72,215	48,150
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	24,065	85,983	61,918
	0,5 m	1,0 m	40,059	94,505	54,446
	0,5 m	1,5 m	40,059	53,665	13,606
	0,5 m	2,0 m	40,059	72,215	32,156
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	40,059	85,983	45,924
	1,0 m	1,5 m	94,505	53,665	40,840
	1,0 m	2,0 m	94,505	72,215	22,290
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	94,505	85,983	8,522
	1,5 m	2,0 m	53,665	72,215	18,550
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	53,665	85,983	32,319
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	72,215	85,983	13,769

(continuação)

Pico B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	76,136	61,031	15,106
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	76,136	101,112	24,976
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	76,136	75,457	0,680
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	76,136	89,463	13,327
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	76,136	77,792	1,655
	0,5 m	1,0 m	61,031	101,112	40,082
	0,5 m	1,5 m	61,031	75,457	14,426
	0,5 m	2,0 m	61,031	89,463	28,433
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	61,031	77,792	16,761
	1,0 m	1,5 m	101,112	75,457	25,656
	1,0 m	2,0 m	101,112	89,463	11,649
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	101,112	77,792	23,321
	1,5 m	2,0 m	75,457	89,463	14,007
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	75,457	77,792	2,335
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	89,463	77,792	11,672
Pico C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,033	0,043	0,011
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,033	0,064	0,032
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,033	0,112	0,079
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,033	0,305	0,272
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,033	0,195	0,162
	0,5 m	1,0 m	0,043	0,064	0,021
	0,5 m	1,5 m	0,043	0,112	0,068
	0,5 m	2,0 m	0,043	0,305	0,261
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,043	0,195	0,151
	1,0 m	1,5 m	0,064	0,112	0,047
	1,0 m	2,0 m	0,064	0,305	0,240
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,064	0,195	0,130
	1,5 m	2,0 m	0,112	0,305	0,193
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,112	0,195	0,083
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,305	0,195	0,110
Pico T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	9,577	34,261	24,684
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	9,577	88,082	78,505
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	9,577	63,019	53,442
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	9,577	108,456	98,879
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	9,577	108,332	98,754
	0,5 m	1,0 m	34,261	88,082	53,821
	0,5 m	1,5 m	34,261	63,019	28,758
	0,5 m	2,0 m	34,261	108,456	74,195
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	34,261	108,332	74,070
	1,0 m	1,5 m	88,082	63,019	25,063
	1,0 m	2,0 m	88,082	108,456	20,374
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	88,082	108,332	20,249
	1,5 m	2,0 m	63,019	108,456	45,437
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	63,019	108,332	45,313
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	108,456	108,332	0,124
Pico T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	27,194	141,764	114,570
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	27,194	194,583	167,389
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	27,194	107,022	79,827
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	27,194	113,398	86,203
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	27,194	113,452	86,257
	0,5 m	1,0 m	141,764	194,583	52,819
	0,5 m	1,5 m	141,764	107,0215	34,7425
	0,5 m	2,0 m	141,764	113,3975	28,3665
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	141,764	113,4515	28,3125
	1,0 m	1,5 m	194,583	107,0215	87,5615
	1,0 m	2,0 m	194,583	113,3975	81,1855
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	194,583	113,4515	81,1315
	1,5 m	2,0 m	107,0215	113,3975	6,376
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	107,0215	113,4515	6,43
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	113,3975	113,4515	0,054

TESTE DE TUKEY

*DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)*MQ_{ERRO}

Tratamentos (picos)

gl_{ERRO}

Número de repetições

Valores da amplitude total estudentizada (q) ao nível de 5% de probabilidade

DMS

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	PICO 1	PICO 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	24,065	76,136	52,071
	A	C	24,065	0,033	24,032
	A	T1	24,065	9,577	14,488
	A	T2	24,065	27,1941	3,129
	B	C	76,136	0,033	76,104
	B	T1	76,136	9,577	66,559
	B	T2	76,136	27,1941	48,942
	C	T1	0,033	9,577	9,545
	C	T2	0,033	27,1941	27,161
	T1	T2	9,577	27,1941	17,617
0,5 m	A	B	40,059	61,031	20,972
	A	C	40,059	0,043	40,015
	A	T1	40,059	34,261	5,797
	A	T2	40,059	141,764	101,705
	B	C	61,031	0,043	60,987
	B	T1	61,031	34,261	26,769
	B	T2	61,031	141,764	80,734
	C	T1	0,043	34,261	34,218
	C	T2	0,043	141,764	141,721
	T1	T2	34,261	141,764	107,503
1,0 m	A	B	94,505	101,112	6,607
	A	C	94,505	0,064	94,440
	A	T1	94,505	88,082	6,422
	A	T2	94,505	194,583	100,078
	B	C	101,112	0,064	101,048
	B	T1	101,112	88,082	13,030
	B	T2	101,112	194,583	93,471
	C	T1	0,064	88,082	88,018
	C	T2	0,064	194,583	194,519
	T1	T2	88,082	194,583	106,501
1,5 m	A	B	53,665	75,457	21,792
	A	C	53,665	0,112	53,553
	A	T1	53,665	63,019	9,355
	A	T2	53,665	107,0215	53,357
	B	C	75,457	0,112	75,345
	B	T1	75,457	63,019	12,438
	B	T2	75,457	107,0215	31,565
	C	T1	0,112	63,019	62,907
	C	T2	0,112	107,0215	106,910
	T1	T2	63,019	107,0215	44,003
2,0 m	A	B	72,215	89,463	17,249
	A	C	72,215	0,305	71,910
	A	T1	72,215	108,456	36,242
	A	T2	72,215	113,3975	41,183
	B	C	89,463	0,305	89,158
	B	T1	89,463	108,456	18,993
	B	T2	89,463	113,3975	23,935
	C	T1	0,305	108,456	108,151
	C	T2	0,305	113,3975	113,093
	T1	T2	108,456	113,3975	4,941

(continuação)

Escuro (2,10 m)	A	B	85,983	77,792	8,192
	A	C	85,983	0,195	85,788
	A	T1	85,983	108,332	22,349
	A	T2	85,983	113,4515	27,469
	B	C	77,792	0,195	77,597
	B	T1	77,792	108,332	30,540
	B	T2	77,792	113,4515	35,660
	C	T1	0,195	108,332	108,137
	C	T2	0,195	113,4515	113,257
	T1	T2	108,332	113,4515	5,120

Intensidade de fluorescência (IF) nos picos A, B, C, T1 e T2 – 2ª retirada (t₇)

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

	PICOS				
	A	B	C	T1	T2
Média	59,929	48,64631667	0,032832768	65,33307833	118,9860833
Erro padrão	16,31711711	6,925147005	0,00805917	20,33097186	34,67685635
Mediana	49,03215	51,02035	0,025144955	56,49235	112,1855
Moda	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Desvio padrão	39,96861098	16,96307656	0,019740855	49,80050704	84,94060394
Variância da amostra	1597,489864	287,7459662	0,000389701	2480,090501	7214,906197
Curtose	-1,86021893	-0,1514319	4,065678925	-1,7403651	-1,752118593
Assimetria	0,578189607	-0,71941967	1,985514158	0,29460305	0,068977658
Intervalo	90,3765	46,1924	0,052717735	124,15123	207,6812
Mínimo	21,0855	21,3324	0,018485485	5,35077	10,5168
Máximo	111,462	67,5248	0,07120322	129,502	218,198
Soma	359,574	291,8779	0,196996605	391,99847	713,9165
Contagem	6	6	6	6	6
Maior (1)	111,462	67,5248	0,07120322	129,502	218,198
Menor (1)	21,0855	21,3324	0,018485485	5,35077	10,5168
Nível de confiança (95,0%)	41,94448484	17,8016571	0,020716757	52,26242697	89,13969705

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA): FATOR DUPLO SEM REPETIÇÃO

DADOS

	Picos de intensidade de fluorescência (r.u.)				
	A	B	C	T1	T2
Superfície (0,05 m)	22,5382	67,5248	0,023356828	5,35077	10,5168
0,5 m	45,4515	61,1473	0,035870413	43,3368	91,753
1,0 m	52,6128	39,8327	0,021147579	69,6479	132,618
1,5 m	21,0855	57,7678	0,026933081	26,851	48,9377
2,0 m	111,462	44,2729	0,07120322	129,502	218,198
Escuro (2,10 m)	106,424	21,3324	0,018485485	117,31	211,893

RESUMO

	Contagem	Soma	Média	Variância
Superfície (0,05 m)	5	105,9539268	21,19078537	740,3891299
0,5 m	5	241,7244704	48,34489408	1103,84494
1,0 m	5	294,7325476	58,94650952	2354,915035
1,5 m	5	154,6689331	30,93378662	528,2741657
2,0 m	5	503,5061032	100,7012206	7015,33205
Escuro (2,10 m)	5	456,9778855	91,3955771	7168,915348
A	6	359,574	59,929	1597,489864
B	6	291,8779	48,64631667	287,7459662
C	6	0,196996605	0,032832768	0,000389701
T1	6	391,99847	65,33307833	2480,090501
T2	6	713,9165	118,9860833	7214,906197

(continuação)

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Condições de incubação	25591,08679	5	5118,217358	3,168	0,03	2,711
Picos de IF	43336,60487	4	10834,15122	6,706	1,36E-03	2,866
Erro	32310,07781	20	1615,50389			
Total	101237,7695	29				

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ _{ERRO}	1615,504
Tratamentos (condições de incubação)	6
gl _{ERRO}	20
Número de repetições	1
Valores da amplitude total estudatizada (q) ao nível de 5% de probabilidade	4,45
DMS	178,860

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS

PICO	PROFUNDIDADE 1	PROFUNDIDADE 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Pico A	Superfície (0,05 m)	0,5 m	22,5382	45,4515	22,9133
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	22,5382	52,6128	30,0746
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	22,5382	21,0855	1,4527
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	22,5382	111,462	88,9238
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	22,5382	106,424	83,8858
	0,5 m	1,0 m	45,4515	52,6128	7,1613
	0,5 m	1,5 m	45,4515	21,0855	24,366
	0,5 m	2,0 m	45,4515	111,462	66,0105
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	45,4515	106,424	60,9725
	1,0 m	1,5 m	52,6128	21,0855	31,5273
	1,0 m	2,0 m	52,6128	111,462	58,8492
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	52,6128	106,424	53,8112
	1,5 m	2,0 m	21,0855	111,462	90,3765
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	21,0855	106,424	85,3385
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	111,462	106,424	5,038
Pico B	Superfície (0,05 m)	0,5 m	67,5248	61,1473	6,3775
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	67,5248	39,8327	27,6921
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	67,5248	57,7678	9,757
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	67,5248	44,2729	23,2519
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	67,5248	21,3324	46,1924
	0,5 m	1,0 m	61,1473	39,8327	21,3146
	0,5 m	1,5 m	61,1473	57,7678	3,3795
	0,5 m	2,0 m	61,1473	44,2729	16,8744
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	61,1473	21,3324	39,8149
	1,0 m	1,5 m	39,8327	57,7678	17,9351
	1,0 m	2,0 m	39,8327	44,2729	4,4402
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	39,8327	21,3324	18,5003
	1,5 m	2,0 m	57,7678	44,2729	13,4949
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	57,7678	21,3324	36,4354
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	44,2729	21,3324	22,9405

<i>(continuação)</i>					
Pico C	Superfície (0,05 m)	0,5 m	0,023357	0,03587	0,012514
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	0,023357	0,021148	0,002209
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	0,023357	0,026933	0,003576
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	0,023357	0,071203	0,047846
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	0,023357	0,018485	0,004871
	0,5 m	1,0 m	0,03587	0,021148	0,014723
	0,5 m	1,5 m	0,03587	0,026933	0,008937
	0,5 m	2,0 m	0,03587	0,071203	0,035333
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	0,03587	0,018485	0,017385
	1,0 m	1,5 m	0,021148	0,026933	0,005786
	1,0 m	2,0 m	0,021148	0,071203	0,050056
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	0,021148	0,018485	0,002662
	1,5 m	2,0 m	0,026933	0,071203	0,04427
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	0,026933	0,018485	0,008448
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	0,071203	0,018485	0,052718
Pico T1	Superfície (0,05 m)	0,5 m	5,35077	43,3368	37,98603
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	5,35077	69,6479	64,29713
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	5,35077	26,851	21,50023
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	5,35077	129,502	124,1512
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	5,35077	117,31	111,9592
	0,5 m	1,0 m	43,3368	69,6479	26,3111
	0,5 m	1,5 m	43,3368	26,851	16,4858
	0,5 m	2,0 m	43,3368	129,502	86,1652
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	43,3368	117,31	73,9732
	1,0 m	1,5 m	69,6479	26,851	42,7969
	1,0 m	2,0 m	69,6479	129,502	59,8541
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	69,6479	117,31	47,6621
	1,5 m	2,0 m	26,851	129,502	102,651
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	26,851	117,31	90,459
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	129,502	117,31	12,192
Pico T2	Superfície (0,05 m)	0,5 m	10,5168	91,753	81,2362
	Superfície (0,05 m)	1,0 m	10,5168	132,618	122,1012
	Superfície (0,05 m)	1,5 m	10,5168	48,9377	38,4209
	Superfície (0,05 m)	2,0 m	10,5168	218,198	207,6812
	Superfície (0,05 m)	Escuro (2,10 m)	10,5168	211,893	201,3762
	0,5 m	1,0 m	91,753	132,618	40,865
	0,5 m	1,5 m	91,753	48,9377	42,8153
	0,5 m	2,0 m	91,753	218,198	126,445
	0,5 m	Escuro (2,10 m)	91,753	211,893	120,14
	1,0 m	1,5 m	132,618	48,9377	83,6803
	1,0 m	2,0 m	132,618	218,198	85,58
	1,0 m	Escuro (2,10 m)	132,618	211,893	79,275
	1,5 m	2,0 m	48,9377	218,198	169,2603
	1,5 m	Escuro (2,10 m)	48,9377	211,893	162,9553
	2,0 m	Escuro (2,10 m)	218,198	211,893	6,305

TESTE DE TUKEY

DIFERENÇA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS)

MQ_{ERRO}

Tratamentos (picos)

gl_{ERRO}

Número de repetições

Valores da amplitude total estudada (q) ao nível de 5% de probabilidade

DMS

(continuação)

IDENTIFICAÇÃO DE DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS					
CONDIÇÃO DE INCUBAÇÃO	PICO 1	PICO 2	IF 1	IF 2	ΔIF
Superfície (0,05 m)	A	B	22,538	67,525	44,987
	A	C	22,538	0,023	22,515
	A	T1	22,538	5,351	17,187
	A	T2	22,538	10,5168	12,021
	B	C	67,525	0,023	67,501
	B	T1	67,525	5,351	62,174
	B	T2	67,525	10,5168	57,008
	C	T1	0,023	5,351	5,327
	C	T2	0,023	10,5168	10,493
	T1	T2	5,351	10,5168	5,166
0,5 m	A	B	45,452	61,147	15,696
	A	C	45,452	0,036	45,416
	A	T1	45,452	43,337	2,115
	A	T2	45,452	91,753	46,302
	B	C	61,147	0,036	61,111
	B	T1	61,147	43,337	17,811
	B	T2	61,147	91,753	30,606
	C	T1	0,036	43,337	43,301
	C	T2	0,036	91,753	91,717
	T1	T2	43,337	91,753	48,416
1,0 m	A	B	52,613	39,833	12,780
	A	C	52,613	0,021	52,592
	A	T1	52,613	69,648	17,035
	A	T2	52,613	132,618	80,005
	B	C	39,833	0,021	39,812
	B	T1	39,833	69,648	29,815
	B	T2	39,833	132,618	92,785
	C	T1	0,021	69,648	69,627
	C	T2	0,021	132,618	132,597
	T1	T2	69,648	132,618	62,970
1,5 m	A	B	21,086	57,768	36,682
	A	C	21,086	0,027	21,059
	A	T1	21,086	26,851	5,766
	A	T2	21,086	48,9377	27,852
	B	C	57,768	0,027	57,741
	B	T1	57,768	26,851	30,917
	B	T2	57,768	48,9377	8,830
	C	T1	0,027	26,851	26,824
	C	T2	0,027	48,9377	48,911
	T1	T2	26,851	48,9377	22,087
2,0 m	A	B	111,462	44,273	67,189
	A	C	111,462	0,071	111,391
	A	T1	111,462	129,502	18,040
	A	T2	111,462	218,198	106,736
	B	C	44,273	0,071	44,202
	B	T1	44,273	129,502	85,229
	B	T2	44,273	218,198	173,925
	C	T1	0,071	129,502	129,431
	C	T2	0,071	218,198	218,127
	T1	T2	129,502	218,198	88,696
Escuro (2,10 m)	A	B	106,424	21,332	85,092
	A	C	106,424	0,018	106,406
	A	T1	106,424	117,310	10,886
	A	T2	106,424	211,893	105,469
	B	C	21,332	0,018	21,314
	B	T1	21,332	117,310	95,978
	B	T2	21,332	211,893	190,561
	C	T1	0,018	117,310	117,292
	C	T2	0,018	211,893	211,875
	T1	T2	117,310	211,893	94,583

APÊNDICE E – TRANSFORMAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA (ANOVA SOBRE DADOS PRECURSORES)

I. Picos de intensidade de fluorescência de amostra da captação – superfície (Godoy, 2017)

Anova: fator duplo sem repetição

RESUMO

	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
fev-16	5	3,24	0,648	0,06787
mai-17	5	0,9	0,18	0,00885
A	2	1,23	0,615	0,41405
B	2	0,8	0,4	0,0098
C	2	0,8	0,4	0,1152
T1	2	0,58	0,29	0,0242
T2	2	0,73	0,365	0,17405

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	0,54756	1	0,54756	11,543	0,03	7,709
Colunas	0,11714	4	0,029285	0,617	0,67	6,388
Erro	0,18974	4	0,047435			
Total	0,85444	9				

ANEXOS


**ANEXO 1 – ESPECIFICAÇÕES DOS ANALIZADORES DE CARBONO
ORGÂNICO DA SÉRIE TOC-V SHIMADZU®**

6.3 Specifications

6.3.1 TOC-VCPH/CPN

Analyte	TC, IC, TOC (TC-IC), NPOC
Measurement principle	680°C catalytically-aided combustion oxidation/non-dispersive infrared detection (NDIR)
Measuring range	TC: 0 - 25000mg/L IC: <ul style="list-style-type: none"> • TOC-VCPH: 0 - 30000mg/L • TOC-VCN: 0 - 3000mg/L
Detection limits	TC: <ul style="list-style-type: none"> • TOC-VCPH: 4µg/L • TOC-VCN: TC: 50µg/L IC: 4µg/L
Measurement time	TC: Approx. 3min IC: <ul style="list-style-type: none"> • TOC-VCPH: Approx. 3min • TOC-VCN: Approx. 4min
Repeatability	CV within 1.5%
Sample introduction	Auto injection using syringe pump/slider
Sample injection volume	10 - 2000µL (variable)
Sample dilution function	Dilution within syringe, dilution factor 2 - 50 times
Pretreatment for IC	Automatic acid addition and sparging
Carrier gas	High purity air (from cylinder)
Carrier gas pressure	Approx. 300 - 600kPa
Carrier gas flow rate	TOC-VCPH: 150mL/min (230mL/min when performing in-syringe sparging) TOC-VCN: 230mL/min
Ambient temperature	5 - 35°C
Power requirements	AC 100-120V ±10% or AC 220-240V ±10%, 6 A, 50/60Hz (power consumption: approx. 230VA)
Fuse	8A.T (100V Systems) 15A.T (200V Systems)
Approximate dimensions	(W) 440 x (D) 560 x (H) 460mm (excluding projections)
Weight	Approx. 40kg

FONTE: SHIMADZU CORPORATION (2020).



Analytical and Measuring Instruments

Excellence in Science

ABOUT SHIMADZU

CONTACT US

GLOBAL LINKS

Keyword SEARCH

HOME
PRODUTOS
INDÚSTRIAS
LITERATURA
CURSOS
NOTÍCIAS/EVENTOS

HOME > PRODUTOS > Analisador de Carbono Orgânico Total > TOC-V

TOC-V

Analísadores TOC

Especificações - série TOC-V

	Total Organic Carbon Analyzer		PC-controlled Total Organic Carbon Analyzer		Basic model Total Organic Carbon Analyzer	Wet oxidation Total Organic Carbon Analyzer	PC-controlled Total Organic Carbon Analyzer
	high-sensitivity model	standard model	high-sensitivity model	standard model			
Model	TOC-VCSH	TOC-VCSN	TOC-VCPH	TOC-PCPN	TOC-VE	TOC-VWS	TOC-VWP
Measurement method	680 degC combustion catalytic oxidation/NDIR method					wet oxidation/NDIR	
Operation method	standalone		PC-controlled		standalone	standalone	PC-controlled
Measured items	TC, IC, TOC, NPOC (optional POC, TN)				TC, IC, TOC, NPOC (optional TN)	TC, IC, TOC, NPOC	
Applicable samples	aqueous sample (optional solid/gas samples)				aqueous sample	aqueous sample	
Measurement range (mg/L)	TC: 0 to 25000 IC: 0 to 30000	TC: 0 to 25000 IC: 0 to 3000	TC: 0 to 25000 IC: 0 to 30000	TC: 0 to 25000 IC: 0 to 3000	TC: 0 to 20000 IC: 0 to 20000	TC: 0 to 3000 IC: 0 to 2500	
Detection limit	4µg/L	50µg/L	4µg/L	50µg/L	----	0.5µg/L	
Measurement accuracy (reproducibility)	CV 1.5% max.				CV2% max. (CV3% max. at 8000mg/L or higher)	CV1.5% max. (CV2% max. at 1000mg/L or higher)	
Measuring time	TC: approx. 3mins.	TC: approx. 3mins.	TC: approx. 3mins.	TC: approx. 3mins.	TC: approx. 3mins.	TC: approx. 4mins.	
	IC: approx. 3mins.	IC: approx. 4mins.	IC: approx. 3mins.	IC: approx. 4mins.	IC: approx. 3mins.	IC: approx. 4mins.	
Sample injection	automatic injection				manual injection	automatic injection	
Sample injection volume	10 to 2000µL variable	10 to 150µL variable	10 to 2000µL variable	10 to 150µL variable	1 to 150µL (requires change of syringe)	350 to 20400 µL variable	
IC pre-treatment	Automatic internal acidification and sparging				Spurge gas supply	Automatic internal acidification and sparging	
Automatic dilution	dilution factor 2 to 50				none	dilution factor 2 to 50	
Gas consumption	approx. 1440 L/month	approx. 2210 L/month	approx. 1440 L/month	approx. 2210 L/month	approx. 2210 L/month	approx. 3000L/month	
	(operating conditions: 8 hours/day x 5days/week)						
Operating keys	built-in		use PC		built-in	built-in	use PC
Display	built-in LCD		use PC		built-in LCD	built-in LCD	use PC
Printer	(CENTRONICS, ESC/P)		PC printer		Optional	(CENTRONICS, ESC/P)	PC printer
Ambient temperature range	5 to 35degC						
Power supply	AC100 ~ 127V ± 10%, MAX800VA AC220 ~ 240V ± 10%, MAX1200VA					AC100 ~ 127V ± 10%, MAX350VA AC220 ~ 240V ± 10%, MAX350VA	
Dimensions	approx. (W)440 x (D)560 x (H)460mm (excluding protrusions)						
Weight	approx. 40 kg				approx. 38 kg	approx. 40 kg	

► [CONTATO](#)

- [CONSULTA](#)
- [Informações de Produtos](#)
- [Cotações](#)
- [Informações Técnicas](#)
- [Outros Assuntos](#)

FONTE: SHIMADZU CORPORATION (2003).

ANEXO 2 – ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR INSTALADO NA CAPTAÇÃO DO PASSAÚNA/PR E DOS RESPECTIVOS DADOS

Device	CC1305009			
File name	CC1305009_20190402_192728	CC1305009_20180424_142840	CC1305009_20180304_152451	CC1305009_20180504_144935
Cast time (UTC)	02/04/2019 19:27	24/04/2018 14:28	03/04/2018 15:24	05/04/2018 14:49
Cast time (local)	02/04/2019 16:27	24/04/2018 11:28	03/04/2018 12:24	05/04/2018 11:49
Sample type	Cast			
Cast data	Processed			
Location source	GPS			
Default latitude	32			
Default altitude	0			
Start latitude	-25,5113114	-25,511867	-25,511834	-25,5115618
Start longitude	-49,3717635	-49,3708324	-49,3713289	-49,3706692
Start altitude	893,7700195	896,1199951	905,1500244	890,210022
Start GPS horizontal error(Meter)	1,25999999	1,00999999	2,819999933	1,200000048
Start GPS vertical error(Meter)	1,960000038	1,480000019	4,289999962	2,329999924
Start GPS number of satellites	11	10	6	10
End latitude	-25,5114255	-25,5117992	-25,5112804	-25,5115857
End longitude	-49,3714973	-49,3706053	-49,371398	-49,3706834
End altitude	931,9799805	916,5	877,8800049	881,8099976
End GPS horizontal error (Meter)	48,15000153	6,119999886	19,87999916	5,409999847
End GPS vertical error (Meter)	62,59000015	9,880000114	34,56999969	11,82999992
End GPS number of satellites	7	10	5	8
Cast duration (Seconds)	69	62,6	62,2	66,6
Samples per second	5			
Electronics calibration date	0001-01-01			
Conductivity calibration date	12/02/2013			
Temperature calibration date				
Pressure calibration date				

FONTE: MUDAK-WRM (2019)

ANEXO 3 – CALCULADORA GEOGRÁFICA E GOOGLE MAPS

I. Estação a807

Calculadora Geográfica

Converte Coordenadas
Sua coordenada esta em:

GEOGRAFICA (Grau Decimal) ▼

Entre Longitude ou X
-49.230602

Entre Latitude ou Y
-25.448688

Selecione o Datum de entrada
WGS84 ▼

Avançar

Use ponto (.) para separação decimal

Calcula distancia entre 2 pontos
Entre Longitude Inicial

Oeste ▼

Entre Latitude Inicial

Sul ▼

Entre Longitude Final

Oeste ▼

Entre Latitude Final

Sul ▼

Selecione o Datum

SAD 69 ▼

Calcular

Calcula Meridiano Central
Entre Longitude

Oeste ▼

Calcular

Download do código fonte das funções de conversão escritas em Php
[Aqui](#)

Coordenadas para testes, [aqui](#)
Problema, dúvida ou sugestão: proarco@dpi.inpe.br
Tutorial (produzido pela Unesp – Câmpus de Presidente Prudente) [aqui](#)

Selecione a Projecao de saida
UTM ▼

Selecione o Datum de saida
WGS84 ▼

Avançar

Resultado	
Datum Entrada	WGS84
Datum Saida	WGS84
Resultado da conversao:	Veja a região no Google Maps
Longitudo em GMS	O 49 13 50.167
Longitudo em GD	-49.230602
Coord X UTM em metros	677913.52480921
Latitude em GMS	S 25 26 55.277
Latitude em GD	-25.448688
Coord Y UTM em metros	7184187.4580134
Meridiano Central = -51 /// Fuso UTM = 22	

Imagens ©2020 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Dados do mapa ©2020 Brasil Termos Enviar feedback 100 m

FONTE: INPE (2020); GOOGLE MAPS (2020).

II. Estação CIC

Calculadora Geográfica

Converte Coordenadas
Sua coordenada esta em:

GEOGRAFICA (Grau Decimal) ▼

Entre Longitude ou X
-49.331208

Entre Latitude ou Y
-25.495444

Selecione o Datum de entrada
WGS84 ▼

Avançar

Use ponto (.) para separação decimal

Calcula distancia entre 2 pontos

Entre Longitude Inicial
Oeste ▼

Entre Latitude Inicial
Sul ▼

Entre Longitude Final
Oeste ▼

Entre Latitude Final
Sul ▼

Selecione o Datum
SAD 69 ▼

Calcular

Calcula Meridiano Central

Entre Longitude
Oeste ▼

Calcular

Download do código fonte das funções de conversão escritas em Php
[Aqui](#)

Coordenadas para testes: [aqui](#)
Problema, dúvida ou sugestão: proarco@dpi.inpe.br
Tutorial (produzido pela Unesp – Câmpus de Presidente Prudente) [aqui](#)

Selecione a Projecao de saida
UTM ▼

Selecione o Datum de saida
WGS84 ▼

Avançar

Resultado


Datum Entrada	WGS84
Datum Saida	WGS84
Resultado da conversao:	Veja a região no Google Maps
--	--
Longitude em GMS	O 49 19 52.349
Longitude em GD	-49.331208
Coord X UTM em metros	667730.79695159
--	--
Latitude em GMS	S 25 29 43.598
Latitude em GD	-25.495444
Coord Y UTM em metros	7179138.994609
Meridiano Central = -51 /// Fuso UTM = 22	

FONTE: INPE (2020); GOOGLE MAPS (2020).

ANEXO 4 – COMPARATIVO DE DISTÂNCIAS ENTRE AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E O LOCAL DO EXPERIMENTO

13/04/2020
Calculadora Geografica

Calculadora Geográfica



Longitude Inicial o 49 22 18.074
(-49.371687222222)

Latitude Inicial s 25 30 41.656
(-25.511571111111)

Longitude Final o 49 13 50.167
(-49.230601944444)

Latitude Final s 25 26 55.277
(-25.448688055556)

Distancia Geodesica 15811.401 metros

Calcula distancia entre 2 pontos

Entre Longitude Inicial

Oeste ▼ 49 22 18.074

Entre Latitude Inicial

Sul ▼ 25 30 41.656

Entre Longitude Final

Oeste ▼ 49 13 50.167

Entre Latitude Final

Sul ▼ 25 26 55.277

Selecione o Datum

WGS84 ▼

Calcular

13/04/2020
Calculadora Geografica



Longitude Inicial o 49 22 18.074
(-49.371687222222)

Latitude Inicial s 25 30 41.656
(-25.511571111111)

Longitude Final o 49 19 52.327
(-49.331201944444)

Latitude Final s 25 29 43.469
(-25.495408055556)

Distancia Geodesica 4447.119 metros

Calcula distancia entre 2 pontos

Entre Longitude Inicial

Oeste ▼ 49 22 18.074

Entre Latitude Inicial

Sul ▼ 25 30 41.656

Entre Longitude Final

Oeste ▼ 49 19 52.327

Entre Latitude Final

Sul ▼ 25 29 43.469

Selecione o Datum

WGS84 ▼

Calcular

FONTE: INPE (2020).

ID	Classificação
Af	Clima tropical equatorial
Am	Clima tropical de monção
As	Clima tropical de savana com verão seco
Aw	Clima tropical de savana com inverno seco
BSh	Clima semiárido quente
BSk	Clima semiárido frio
BWh	Clima árido quente
BWk	Clima árido frio
Cfa	Clima subtropical úmido/ temperado úmido com verão quente sem estação seca
Cfb	Clima temperado oceânico/temperado marítimo/temperado húmido com verão ameno sem estação seca
Cfc	Clima oceânico subpolar
Csa	Clima mediterrânico de verão quente
Csb	Clima mediterrânico de verão ameno
Csc	Clima mediterrânico de verão frio
Cwa	Clima subtropical influenciado pelas monções com verão quente
Cwb	Clima subtropical influenciado pelas monções com verão ameno
Cwc	Clima oceânico subpolar influenciado pelas monções com verão frio
Dfa	Clima continental úmido de verão quente
Dfb	Clima continental úmido de verão ameno
Dfc	Clima subártico sem estação seca
Dsa	Clima continental úmido de verão quente com influência mediterrânea
Dsb	Clima continental úmido de verão ameno com influência mediterrânea
Dsc	Clima subártico com estação seca
Dsd	Clima subártico extremamente frio
Dwa	Clima continental úmido influenciado pelas monções com verão quente
Dwb	Clima continental úmido influenciado pelas monções com verão ameno
Dwc	Clima subártico influenciado pelas monções com verão frio
Dwd	Clima subártico influenciado pelas monções com inverno rigoroso
EF	Clima glacial
ET	Clima de tundra

FONTE: Adaptado de KÖPPEN (1936); KOTTEK et al. (2006).